

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ, ОБРАЗОВАНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ (ИТНОП-2023)

Сборник трудов IX Международной
научно-технической конференции

INFORMATION TECHNOLOGIES IN SCIENCE, EDUCATION AND PRODUCTION (ITSEP-2023)

Collection of works of the IX International
Conference on Science and Technology

Белгород, 31 мая – 2 июня 2023

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Белгородский государственный национальный
исследовательский университет»

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ,
ОБРАЗОВАНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ
(ИТНОП-2023)**

Сборник трудов IX Международной научно-технической
конференции

(г. Белгород, 31 мая – 2 июня 2023 г.)



Белгород 2023

УДК 004:001:37:658
ББК 32.973+72+74+65.29
И 74

Редакционная коллегия:
Ответственный редактор: *Е.В. Болгова*

Члены редколлегии:
*В.Б. Васильев, О.А. Ивацук, И.С. Константинов, А.В. Коськин, А.В. Макаренко, Р.В. Мецераков,
Л.В. Мигаль, В.А. Полушин, Н.П. Путивцева, В.И. Раков, Д.И. Трубицына*

Организационный комитет:

Лазарев Сергей Александрович, кандидат экономических наук, заместитель директора по научной и международной деятельности института инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ» – *председатель организационного комитета.*

Балабанова Татьяна Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий института инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ» – *ученый секретарь.*

Болгова Евгения Витальевна, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий института инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ».

Игитян Елена Владимировна, помощник директора института инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ».

Лунев Роман Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, директор НОЦ ФиПИТ Орловского государственного университета им. И. С.Тургенева.

Мигаль Лариса Владимировна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры информационных и робототехнических систем института инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ».

Полушин Виктор Александрович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры дифференциальных уравнений института инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ».

Путивцева Наталья Павловна, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий института инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ».

Трубицына Диана Игоревна, кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий института инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ».

Стычук Алексей Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева.

Федоров Вячеслав Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных и робототехнических систем института инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ».

Черноморец Дарья Андреевна, ассистент кафедры математического и программного обеспечения информационных систем института инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ».

И 74 **Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП-2023):** сборник трудов IX Международной научно-технической конференции (г. Белгород, 31 мая – 2 июня 2023 г.) / отв. ред. Е.В. Болгова. – Белгород: ИД «БелГУ» НИУ «БелГУ», 2023. – 468 с.

ISBN 978-5-9571-3476-3

В сборнике освещаются актуальные теоретические и практические проблемы развития информационных технологий в сферах науки, образования и производства. Представлены научные достижения ученых, специалистов, аспирантов, соискателей, магистрантов и студентов. Предназначено для преподавателей, аспирантов и студентов, для всех, кто занимается научными исследованиями. Информация о сборнике и опубликованных статьях предоставляется в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

Электронная версия сборника находится в свободном доступе на сайте: <http://itnor.ru> и на сайте научной электронной библиотеке (НЭБ): www.elibrary.ru.

Статьи публикуются в авторской редакции. Авторы несут ответственность за содержание статей, за достоверность приведенных в статье фактов, цитат, статистических и иных данных, имен, названий и прочих сведений, а также за соблюдение законов об интеллектуальной собственности.

УДК 004:001:37:658
ББК 32.973+72+74+65.29

ISBN 978-5-9571-3476-3

© НИУ «БелГУ», 2023

Russian Federation Ministry of Science and Higher Education
Federal Public Autonomous Educational Institution of the Higher Education
«Belgorod National Research University»

**INFORMATION TECHNOLOGIES IN SCIENCE,
EDUCATION AND PRODUCTION
(ITSEP-2023)**

Collection of Works of the IX International
Conference on Science and Technology

(Belgorod, May 31 – June 2 2023)



Belgorod 2023

UDC 004:001:37:658
LSB 32.973+72+74+65.29
I 74

Editorial board:
Executive editor: *Evgeniya V. Bolgova*

Members of the editorial board:
Vladimir B. Vasiliev, Olga A. Ivaschuk, Igor S. Konstantinov, Aleksandr V. Kos'kin, Andrey V. Makarenko, Roman V. Meshcheryakov, Larisa V. Migal, Victor A. Polunin, Natalya P. Putivzeva, Vladimir I. Rakov, Diana I. Trubitsyna

Organizing committee:
Sergei A. Lazarev, Candidate of Economics Sciences, Deputy Director for Scientific and International activities at the Institute of Engineering and Digital Technologies, NRU BelSU – *Chairman of the organizing committee*.
Tatyana N. Balabanova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies of the Institute of Engineering and Digital Technologies, NRU BelSU – scientific secretary.
Evgeniya V. Bolgova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies of the Institute of Engineering and Digital Technologies, NRU BelSU.
Elena V. Igityan, Assistant Director of the Institute of Engineering and Digital Technologies, NRU BelSU.
Roman A. Lunev, Candidate of Engineering Sciences, Docent, Director of the Scientific and Educational Center «Fundamental and Applied Information Technologies», Oryol State University named after I.S. Turgenev.
Larisa V. Migal, Candidate of Physics and Mathematics sciences, Associate Professor of the Department of Information and Robotic Systems of the Institute of Engineering and Digital Technologies, NRU BelSU.
Victor A. Polunin, Candidate of Physics and Mathematics sciences, Associate Professor of the Department of Applied Mathematics and Computer Modelling of the Institute of Engineering and Digital Technologies, NRU BelSU.
Natalya P. Putivzeva, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies of the Institute of Engineering and Digital Technologies, NRU BelSU.
Diana I. Trubitsyna, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies of the Institute of Engineering and Digital Technologies, NRU BelSU.
Alexey A. Stychuk, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Information Systems, Oryol State University named after I.S. Turgenev.
Vyacheslav I. Fedorov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Robotic Systems of the Institute of Engineering and Digital Technologies, NRU BelSU.
Darya A. Chernomoretz, assistant of the Department of Mathematical and Software Information Systems of the Institute of Engineering and Digital Technologies, NRU BelSU.

I 74 **Information Technologies in Science, Education and Production:** Collection of Works of the IX International Conference on Science and Technology (Belgorod, May 31 – June 2 2023) / exec. ed.: Evgeniya V. Bolgova. – Belgorod: PH «BelSU» NRU «BelSU», 2023. – 468 p.

ISBN 978-5-9571-3476-3

The compendium highlights current theoretical and practical problems in the development of information technology in the fields of science, education and production. Scientific achievements of scientists, specialists, postgraduate students, applicants, masters and students are presented. It is intended for teachers, postgraduates and students, for all those involved in scientific research. Information about the collection and published articles is provided in the system of the Russian Science Citation Index (RSCI).

The electronic version of the compendium is freely available at: <http://itnop.ru> and at the site of the scientific electronic library (SEL): www.elibrary.ru.

Articles are published in the author's edition. The authors are responsible for the content of the articles, for the accuracy of the facts, citations, statistics and other data, names, titles and other information, as well as for the observance of intellectual property laws.

UDC 004:001:37:658
LBC 32.973+72+74+65.29

ISBN 978-5-9571-3476-3

© NRU «BelSU», 2023

Президиум конференции

**Карловская Евгения
Анатольевна**

доктор экономических наук, доцент, и.о. ректора
Белгородского государственного национального
исследовательского университета (НИУ «БелГУ»);
Председатель

**Соколов Игорь
Анатольевич**

академик РАН, доктор технических наук, профессор,
директор Федерального исследовательского центра
«Информатика и управление» РАН (ФИЦ ИУ РАН);
Сопредседатель

**Новиков Дмитрий
Александрович**

академик РАН, доктор технических наук, профессор,
директор Института проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН (ИПУ РАН);
Сопредседатель

**Федотов Александр
Анатольевич**

кандидат экономических наук, доцент, ректор Орловского
государственного университета им. И.С. Тургенева (ОГУ им.
И.С. Тургенева);
Сопредседатель

Presidium of the conference

- Evgeniya A. Karlovskaya** Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Acting Rector of Belgorod State National Research University (National Research University «BelSU»).
Chairman
- Igor A. Sokolov** Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Federal Research Center «Informatics and Management» of the Russian Academy of Sciences (FRC IM RAS).
Co-chairman
- Dmitry A. Novikov** Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences (ICS RAS).
Co-chairman
- Alexander A. Fedotov** Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Rector of Oryol State University named after I.S. Turgenev (OSU named after I.S. Turgenev).
Co-chairman

Программный комитет

Константинов Игорь Сергеевич	заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Математического и программного обеспечения информационных систем» Института инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ». Председатель
Коськин Александр Васильевич	доктор технических наук, профессор, директор департамента информатизации и перспективного развития Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева. Зам. председателя
Антипин Сергей Иванович	директор Центра интеллектуального цифрового сельского хозяйства ИПУ РАН
Буркова Ирина Владимировна	доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории № 57 «Активных систем» ИПУ РАН
Васильев Владимир Борисович	доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладной математики и компьютерного моделирования» Института инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ»
Глущенко Антон Игоревич	доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории № 7 «Адаптивных и робастных систем им. Я.З. Цыпкина» ИПУ РАН
Еременко Владимир Тарасович	доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Информационная безопасность» Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева
Жиляков Евгений Георгиевич	доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Информационно-телекоммуникационных систем и технологий» Института инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ»
Иващук Ольга Александровна	доктор технических наук, заведующий кафедрой «Информационных и робототехнических систем» Института инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ»
Корсунов Николай Иванович	доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Математического и программного обеспечения информационных систем» Института инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ»

Program committee

Igor S. Konstantinov	Honored Science Worker of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Mathematical and Software Information Systems, Institute of Engineering and Digital Technologies, NRU «BelSU». Chairman
Aleksandr V. Kos'kin	Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Department of Informatization and Prospective Development, Orel State University named after I.S. Turgenev. Vice-chairman
Sergey I. Antipin	Director of the Center for Intelligent Digital Agriculture, ICS RAS
Irina V. Burkova	Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of Laboratory No. 57 «Active Systems», ICS RAS
Vladimir B. Vasiliev	Doctor of Physics and Mathematics sciences, Professor, Head of the Department of Differential Equations, Institute of Engineering and Digital Technologies, NRU «BelSU»
Anton I. Glushchenko	Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of Laboratory No. 7 «Adaptive and Robust Systems named after Ya.Z. Tsympkin», ICS RAS
Vladimir T. Eremenko	Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Information Security Department, Orel State University named after I.S. Turgenev
Evgeny G. Zhyliakov	Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies, Institute of Engineering and Digital Technologies, NRU «BelSU»
Olga A. Ivaschuk	Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Information and Robotic Systems, Institute of Engineering and Digital Technologies, NRU «BelSU»
Nikolai I. Korsunov	Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Mathematical and Software Information Systems, Institute of Engineering and Digital Technologies, NRU «BelSU»

Кузичкин Олег Рудольфович	доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Информационных и робототехнических систем» Института инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ»
Ломакин Владимир Васильевич	кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладной информатики и информационных технологий» Института инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ»
Макаренко Андрей Викторович	кандидат технических наук, директор Центра технологий искусственного интеллекта ИПУ РАН
Меньших Валерий Владимирович	доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры «Математики и моделирования систем» Воронежского институт МВД России
Мещеряков Роман Валерьевич	доктор технических наук, профессор, директор Центра интеллектуальных робототехнических систем ИПУ РАН
Муромцев Виктор Владимирович	кандидат технических наук, доцент кафедры «Математического и программного обеспечения информационных систем» Института инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ»
Подмастерьев Константин Валентинович	доктор технических наук, профессор, директор института приборостроения, автоматизации и информационных технологий, профессор кафедры приборостроения, метрологии и сертификации Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева
Польщиков Константин Александрович	доктор технических наук, доцент, директор Института инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ»
Попков Юрий Соломонович	академик РАН, доктор технических наук, профессор, директор Института системного анализа Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН
Раков Владимир Иванович	доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Информационных систем и цифровых технологий» Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева

- Oleg R. Kuzichkin** Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information and Robotic Systems, Institute of Engineering and Digital Technologies, NRU «BelSU»
- Vladimir V. Lomakin** Candidate of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Applied Informatics and Information Technologies, Institute of Engineering and Digital Technologies, NRU «BelSU»
- Andrey V. Makarenko** Candidate of Technical Sciences, Director of the Center for Artificial Intelligence Technologies, ICS RAS
- Valery V. Men'shih** Doctor of Physics and Mathematics Sciences, Professor, Professor at the Department of Mathematics and Modeling, Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia
- Roman V. Meshcheryakov** Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Center for Intelligent Robotic Systems, ICS RAS
- Viktor V. Muromtsev** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mathematical and Software Information Systems, Institute of Engineering and Digital Technologies, NRU «BelSU»
- Konstantin V. Podmasteriev** Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Instrumentation, Metrology and Certification Institute, Professor of the Department of Instrumentation, Metrology and Certification, Orel State University named after I.S. Turgenev
- Konstantin A. Polshchikov** Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Engineering and Digital Technologies, NRU «BelSU»
- Yuri S. Popkov** Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Institute of Systems Analysis, FRC IM RAS
- Vladimir I. Rakov** Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information Systems and Digital Technologies, Orel State University named after I.S. Turgenev

Рыженков Денис Викторович	кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Информационных систем и цифровых технологий» Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева
Савина Ольга Александровна	доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры «Информационных систем и цифровых технологий» Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева
Садырбаев Феликс Жармухаммедович	доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент АН Латвии, г. Рига, Латвийский университет, Институт математики и информатики
Ситник Сергей Михайлович	доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры «Прикладной математики и компьютерного моделирования» Института инженерных и цифровых технологий НИУ «БелГУ»
Солдатов Александр Павлович	доктор физико-математических наук, профессор, вычислительный центр РАН Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН
Фёдоров Владимир Евгеньевич	доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Математического анализа» Челябинского государственного университета
Халимон Виктория Ивановна	доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Системного анализа и информационных технологий» Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)
Ягалиева Богдат Есеновна	кандидат физико-математических наук, доцент, декан факультета «Наука и технология» Yessenov University, г. Актау, Казахстан

- Denis V. Ryzhenkov** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Information Systems and Digital Technologies, Oryol State University. I.S. Turgenev
- Olga A. Savina** Doctor of Economics Sciences, Professor, Professor of the Department of Information Systems and Digital Technologies, Oryol State University named after I.S. Turgenev
- Felix Zh. Sadyrbaev** Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Latvian Academy of Sciences, Riga, University of Latvia, Institute of Mathematics and Informatics
- Sergei M. Sitnik** Doctor of Physics and Mathematics Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Differential Equations, Institute of Engineering and Digital Technologies, NRU «BelSU»
- Aleksandr P. Soldatov** Doctor of Physics and Mathematics Sciences, Professor, Computer computational Center of the Russian Academy of Sciences of the Federal Research Center «Informatics and Management», Russian Academy of Sciences
- Vladimir E. Fyodorov** Doctor of Physics and Mathematics Sciences, Professor, Head of the Department of «Mathematical Analysis», Chelyabinsk State University
- Vicroriya I. Khalimon** Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of System Analysis and Information Technologies, St. Petersburg State Institute of Technology (Technical University).
- Bogdat Ye. Yagalieva** Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Science and Technology, Yessenov University, Aktau, Kazakhstan

ОГЛАВЛЕНИЕ

МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ ПО ИТОГАМ ПЛЕНАРНОГО ЗАСЕДАНИЯ

Р.В. Мещеряков, Я.А. Туровский R.V. Meshcheryakov, Y.A. Turovsky Перспективные направления развития человеко-машинных интерфейсов Perspective for human-machine interfaces design	24
Ф.Ж. Садырбаев F.Zh. Sadyrbaev О задачах управления в теории сетей On control problems in the networks theory	30
А.В. Артемов, В.Н. Волков A.V. Artemov, V.N. Volkov Развитие информационного общества на территории Орловской области The information society development in the Orel region	34
И.С. Константинов, М.Н. Степанцевич, М.И. Горбачев I.S. Konstantinov, M.N. Stepansevich, M.I. Gorbachev Инструменты цифровой трансформации аграрного вуза Tools for digital transformation of agrarian university.....	37
Ю.А. Кошлич, П.А. Трубаев Yu.A. Koshlich, P.A. Trubaev Управление энергосбережением распределенных инженерных систем общественных и жилых зданий Energy saving management of distributed engineering systems of public and residential buildings	41
В.И. Халимон, О.В. Проститенко V.I. Khalimon, O.V. Prostitenko Использование операций на графах для исследования информационных структур систем управления технологическими процессами Using operations on graphs to study information structures of technological process control systems	49
А.В. Маматов, А.В. Гальцев A.V. Mamatov, A.V. Galtcev Построение системы управления набором абитуриентов в вузы на основе ситуационно-поведенческого подхода Building a management system for the recruitment of applicants to universities based on a situational-behavioral approach	55

СЕКЦИЯ 1

«ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»

П.О. Архипов P.O. Arkhipov Информационная модель метода нормализации снимков при создании цветных панорам Information model of the method of normalization of images when creating color panoramas	59
---	----

С.П. Белов, А.А. Коркин S.P. Belov, A.A. Korkin	
О повышении помехоустойчивости декаметровых инфокоммуникационных систем на основе применения антифедингового кодирования On increasing the noise immunity of decameters info-communication systems on the basis of the application of anti-feding coding	65
В.Н. Войцеховский, Д.Ю. Черников, А.В. Цыпцова V.N. Voitsekhovskiy, D.Yu. Chernikov, A.V. Tsyptsova	
Статистические характеристики скорости передачи информации в радиоканале сети Wi-Fi Statistical characteristics of information transfer rate in Wi-Fi network radio channel	68
Е.Г. Жилияков, И.И. Лубков E.G. Zhilyakov I.I. Lubkov	
Преобразование визуальной информации на основе субполосных представлений Visual information transformation based on sub-band representations	74
Е.Г. Жилияков, Д.А. Черноморец, Е.В. Болгова, А.А. Черноморец E.G. Zhilyakov, D.A. Chernomorets, E.V. Bolgova, A.A. Chernomorets	
Об обнаружении малоразмерных объектов на морской поверхности на основе признаков отличий свойств её малых фрагментов в локальной области On the detection of small-sized objects on the sea surface based on the differences signs in the properties of its small fragments in the local area	80
Е.В. Игитян, К.А. Польщиков, Е.В. Ильинская E.V. Igityan, K.A. Polshchykov, E.V. Ilyinskaya	
Обзор средств оценивания характеристик диалоговых систем Overview of tools for evaluating the characteristics of dialog systems	90
Д.В. Сенчук D.V. Senchuk	
Изучение особенностей формирования сценарных алгоритмов в интересах адаптации к управлению роем беспилотных летательных аппаратов Studying the peculiarities of forming scenario algorithms in the interests of adaptation to the control of a swarm of unmanned aerial vehicles	95
И.А. Тенькаев, А.Г. Артамонов, С.А.К. Диане I.A. Ten'kaev, A.G. Artamonov, S.A.K. Diane	
Моделирование гетерогенной робототехнической системы для возведения труднодоступных участков инженерных конструкций с помощью автономного РТП и БПЛА Simulation of a heterogeneous robot-technical system for the construction of hard-to-access areas of engineering structures with the help of autonomous RTP and a dron	100
Г.Е. Турчанинов G.E. Turchaninov	
Современные технологии «умный дом» Modern smart home technologies	106
Ю.Г. Чашин, С.А. Лазарев Y.G. Chashin, S.A. Lazarev	
Анализ угроз, методов и систем обеспечения безопасности в программно-конфигурируемых сетях Analysis of security threats, methods and systems	110

Д.А. Черноморец D.A. Chernomorets	
Об оценивании размера объекта на цифровом изображении About estimating the object size on a digital image	116
А.А. Ширяев, С.С. Кукушкин, И.И. Олейник A.A. Shiryaev, S.S. Kukushkin, I.I. Oleinik	
Методы повышения эффективности технологий передачи данных в беспроводных информационных коммуникациях Methods of increasing the efficiency of data transmission technologies in wireless information communications	120
Н.В. Щербинина N.V. Shcherbinina	
Общие принципы создания авиационных симуляторов General principles of aviation simulators development	126
Ш.Н. Юсупов Sh.N. Yusupov	
Реконструкция сжатых многоспектральных данных зондирования с использованием кросс-спектрального многослойного условного случайного анализа Reconstruction of compressed multispectral sensing data using cross-spectral multilayer conditional random analysis	131

СЕКЦИЯ 2

«ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АПК»

А.В. Бабкина, О.С. Пучкова A.V. Babkina, O.S. Puchkova	
Совершенствование транспортно-складского хозяйства сельскохозяйственной организации за счёт применения автоматизированных информационных систем логистического характера Improving the transport and storage facilities of an agricultural organization through the use of automated logistics information systems	136
П.А. Бузов, А.Г. Жихарев, С.И. Маторин P.A. Buzov, A.G. Zhikharev, S.I. Matorin	
Системно-объектная модель системы менеджмента качества System-object model quality management systems.....	141
Д.В. Гончаров, О.А. Иващук, В.И. Федоров D.V. Goncharov, O.A. Ivashchuk, V.I. Fedorov	
Моделирование автоматизированной системы управления урожайностью сельскохозяйственных культур в условиях динамики парникового эффекта Modeling of an automated system for managing the yield of agricultural crops under the dynamics of the greenhouse effect.....	147
А.А. Жигалов, О.А. Иващук, О.О. Иващук, М.Б. Жумадилова A.A. Zhigalov, O.A. Ivashchuk, O.O. Ivashchuk, M.B. Zhumadilova	
Подходы к биометрической детекции сельскохозяйственных животных на основе нейросетевого аппарата Approaches to biometric detection of farm animals based on neural network apparatus.....	153

О.Д. Иващук, О.О. Иващук, С.В. Игрунова, Е.В. Нестерова, Б.Е. Ягалиева O.D. Ivaschuk, O.O. Ivaschuk, S.V. Igrunova, E.V. Nesterova, B.E. Yagalieva	
Имитационная модель оптимизации параметров процесса усреднения для бункера перемешивания Simulation model for optimizing the parameters of the averaging process for the mixing hopper	157
О.Д. Иващук, С. В. Игрунова, Е.В. Нестерова, А.И. Штана, В.А. Дунаева O.D. Ivaschuk, S.V. Igrunova, E.V. Nesterova, A.I. Shtana, V.A. Dunaeva	
Многокомпонентный подход к оценке эффективности валковых мельниц обогачительных фабрик Multi-component approach to assessing the efficiency of roll mills in processing plants.....	164
О.А. Иващук, В. И. Федоров, Д.А. Иващук, Н.В. Федорова O.A. Ivaschuk, V.I. Fedorov, D.A. Ivaschuk, N.V. Fedorova	
Разработка метода комплексной оценки экологического состояния объектов и процессов агропромышленного комплекса Development of a method for integrated ecological state of objects and processes of agro-industrial complex	171
А.С. Самусенко, Д.Г. Гордеев, А.В. Греченева A.S. Samusenko, D.G. Gordeev, A.V. Grecheneva	
Разработка программного обеспечения для системы аэропонного выращивания с использованием компьютерного зрения Software development for aeropon growing system using computer vision	177
Д.С. Якимайнен, Е.Б. Кариков, А.А. Шамраев D.S. Yakimainen, E.B. Karikov, A.A. Shamraev	
Техническое зрение в задачах контроля качества производства курицы Technical vision in the tasks of quality control of chicken production	183

СЕКЦИЯ 3

«ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

А.А. Бабенко A.A. Babenko	
Метод микроволнового сверхвысокочастотного спекания при формировании керамики Microwave ultrahigh frequency sintering method in the formation of ceramics.....	188
С.О. Барков, В.В. Химуля S.O. Barkov, V.V. Khimulia	
Использование методов численного моделирования для изучения фильтрационных свойств горных пород в среде Geodict по данным рентгеновской компьютерной томографии Application of number modeling methods to study the filtration properties of rocks in the Geodict framework based on x-ray computed tomography data	192
А.А. Быков, Д.И. Суржик, Г.С. Васильев, О.Р. Кузичкин A.A. Bykov, D.I. Surzhik, G.S. Vasiliev, O.R. Kuzichkin	
Прогнозирование развития геодеформационных процессов в земляном полотне железной дороги Forecasting the development of deformation processes in the railway roadbed.....	196

Г.С. Васильев, О.Р. Кузичкин, Д.И. Суржик, М.Д. Бакнин, А.П. Люленков G.S. Vasilyev, O.R. Kuzichkin, D.I. Surzhik, M.D. Baknin, A.P. Lyulenkov	
Моделирование нелинейной устойчивости систем автоматического регулирования термоэлектрических модулей Modeling of nonlinear stability of automatic control systems of thermoelectric modules.....	199
Г.С. Васильев, О.Р. Кузичкин, Д.И. Суржик, М.Д. Бакнин, А.П. Люленков G.S. Vasilyev, O.R. Kuzichkin, D.I. Surzhik, M.D. Baknin, A.P. Lyulenkov	
Моделирование устойчивости систем автоматического регулирования термоэлектрических модулей Modeling of stability of automatic control systems of thermoelectric modules.....	201
М.А. Величко, В.А. Есин, Е.В. Есина M.A. Velichko, V.A. Esin, E.V. Esina	
Программное приложение для управления устройством технического зрения для концентрационного стола Software application for the control of a vision device for a concentration table	203
Н.С. Воробьев, Е.С. Боровинская N.S. Vorobev, E.S. Borovinskaya	
Моделирование гидродинамики двухфазной жидкости в микрореакторе с использованием библиотеки openfoam Simulation of two-phase fluid dynamics in a microreactor using the openfoam library	207
А.И. Голубева, В. Решетиловский A.I. Golubeva, W. Reschetilowski	
Упрощение кинетических механизмов на основе комбинированных математических методов Simplification of kinetic mechanisms based on combined mathematical methods.....	211
О.А. Ивашук, А.А. Ивахненко O.A. Ivashchuk, A.A. Ivakhnenko	
Подход к автоматизированному управлению запасами малого автосервисного предприятия Methods and models of automated inventory management of a small motor transport enterprise	215
О.Д. Ивашук, О.М. Шеметова, И.В. Удовенко O.D. Ivaschuk, O.M. Shemetova, I.V. Udovenko	
Моделирование траекторий движения частиц в вихревом смесителе сыпучих материалов Modeling of particle motion trajectories in a vortex mixer of bulk materials	220
Каунг Мьят Хту, А.Н. Афонин Kaung Myat Htoo, A.N. Afonin	
Имитационное моделирование малогабаритных электромеханических систем в среде Simulink Simulation model of small electromechanical systems in Simulink.....	225
И.А. Костомаров, Д.К. Ершов I.A. Kostomarov, D.K. Ershov	
Анализ влияния методов численного интегрирования на результат решения прямой кинетической задачи Analysis of the influence of numerical integration methods on the result of solving a direct kinetic problem.....	231

В.С. Медведев V.S. Medvedev	
Оптимизация производственных процессов с использованием автоматизированной информационно-измерительной системы учета электроэнергии Optimization of production processes using an automated information and measurement system for energy accounting.....	236
К.В. Мортин K.V. Mortin	
Система технического зрения для детектирования поверхностных дефектов на изображениях листового металлопроката в условиях низкого соотношения сигнал – шум System technical vision for detecting surface defects in images of rolled metal sheets in conditions of low signal-to-noise ratio.....	239
А.А. Очирова, Д.К. Ершов A.A. Ochirova, D.K. Ershov	
Применение метода Морриса для оценки чувствительности параметров моделей Application of the Morris method to estimate the sensitivity of model parameters	245
С.А. Песоцкий, С.И. Маторин S.A. Pesotsky, S.I. Matorin	
Системно-объектное моделирование производственных процессов System-object modeling of production processes	249
Н.Г. Резников, А.Г. Жихарев N.G. Reznikov, A.G. Zhikharev	
Имитационное моделирование производственно-технологических процессов цементной промышленности с применением УФО-подхода и инструментария UFO-modeler Simulation modeling of production-technological processes in the cement production using the ufo approach and the ufo-modeler toolkit	253
В.В. Румбешт, Е.В. Бурданова V.V. Rumbesht, E.V. Burdanova	
Вычисление мощностей параметрических множеств последовательностей Calculating capacities parametric sets of sequences	258
А.А. Саранцева, Е.С. Боровинская A.A. Sarantseva, E.S. Borovinskaya	
Сравнительный анализ методов оптимизации в собственной реализации и из библиотек Python для решения обратных задач на примере функции Розенброка Comparison of optimization methods in own implementation and from Python libraries for solving inverse problems on the example of the Rosenbrock function	264
Д.И. Суржик, А.А. Быков, Г.С. Васильев, О.Р. Кузичкин D.I. Surzhik, A.A. Bykov, G.S. Vasilyev, O.R. Kuzichkin	
Эквивалентная передаточная функция системы «грунтовое основание – земляное полотно – железнодорожный путь» Equivalent transfer function of the system «soil base – ground – railway»	269
В.В. Химуля, С.О. Барков V.V. Khimulia, S.O. Barkov	
Применение цифрового анализа КТ-снимков для оценки неоднородностей внутреннего пространства пород-коллекторов подземных хранилищ газа Digital CT-analysis for assessing inhomogeneities in the interior of reservoir rocks of underground gas storages.....	272

А.В. Цыпцова, А.О. Куянов
A.V. Tsiptsova, A.O. Kuyanov

Передача информации о геолокации абонентов подвижной связи в спутниковых каналах
Transmission of information about the geolocation of mobile communication subscribers in satellite channels 277

СЕКЦИЯ 4

«ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЕ»

Б.А. Витлугин
B.A. Vitlugin

Проектирование и реализация информационной системы для анализа результатов тестирования знаний студентов
Design and implementation of an information system for analyzing the results of testing students' knowledge 280

В.А. Громов
V.A. Gromov

Раскрытие потенциала искусственного интеллекта в анализе социальных медиа: подход на основе Python
Unleashing the potential of artificial intelligence in social media analysis: a Python-based approach 285

В.А. Дунаева, О.Г. Худасова, Л.В. Половнева
V.A. Dunaeva, O.G. Khudasova, L.V. Polovneva

Программная часть роботизированной системы реабилитации верхних конечностей
The software part of the robotic upper limb rehabilitation system 291

Д.П. Киселев, С.П. Строев
D.P. Kiselev, S.P. Stroeov

Интеллектуализированная система поддержки жизненного цикла научной конференции
Intelligent life cycle support system of an academic conference..... 298

С.Р. Коломиец, Е.Ю. Семенов
S.R. Kolomic, E.Y. Semenov

Искусственный интеллект и авторские права: проблемы и социальная значимость
Artificial intelligence and copyright: problems and social significance..... 303

И.С. Константинов, В.А. Беленко, А.Н. Немцев, Т.В. Беленко
I.S. Konstantinov, V.A. Belenko, A.N. Nemtsev, T.V. Belenko

Проектирование информационной системы выбора индивидуальных траекторий обучения в вузе
Designing an information system of choice Individual learning trajectory at the university 307

А.В. Кротова, Т.А. Лысакова, Т.В. Зайцева, Н.П. Путивцева, Е.С. Бугаева
A.V. Krotova, T.A. Lysakova, T.V. Zaitseva, N.P. Putivtseva, E.S. Bugaeva

Работа модуля интеллектуальной проверки документов на основе алгоритма «Королев» в СЭД НИУ «БелГУ»
The work of the module of intellectual verification of documents based on the algorithm «Korolev» in the edms of the national research university «BelSU» 313

А.С. Лебедева, В.И. Стеклова A.S. Lebedeva, V.I. Steklova	
Выбор системы дистанционного обучения с использованием метода анализа иерархий The use of analytical hierarchical procedure for the choice of learning management system....	319
В.В. Муромцев, Л.А. Камышникова, О.А. Ефремова V.V. Muromtsev, L.A. Kamyshnikova, O.A. Efremova	
Способ оперативного обнаружения жизнеугрожающих состояний сердечно-сосудистой системы The method for the operational detection of life-threatening conditions cardiovascular system.....	327
Е.В. Нестерова, В.Г. Нестеров, С.В. Игрунова E.V. Nesterova, V.G. Nesterov, S.V. Igrunova	
Система дистанционного мониторинга сердечного ритма Remote heart rate monitoring system.....	331
Е.В. Нестерова, В.Г. Нестеров, С.В. Игрунова, А.С. Шевкунов E.V. Nesterova, V.G. Nesterov, S.V. Igrunova, A.S. Shevkunov	
Разработка информационно-аналитической системы самоорганизации участников Development of an information and analytical system for self-organization of participants	336
А.А. Синько, К.А. Польщиков A.A. Sinko, K.A. Polshchikov	
Создание методов и моделей на основе нейронных сетей для диагностирования инженерных способностей Creation of methods and models based on neural networks for engineering abilities diagnosing	342
А.Ю. Ужаринский, А.В. Коськин, С.В. Новиков A.Yu. Uzharinskiy, A.V. Koskin, S.V. Novikov	
Опыт построения электронной информационно-образовательной среды в Орловском государственном университете им. И.С. Тургенева Experience in building an electronic information and educational environment at the Oryol State University named after I.S. Turgenev	348
В.И. Халимон, А.Ю. Рогов, О.В. Проститенко V.I. Khalimon, A.Y. Rogov, O.V. Prostitenko	
Использование интерактивных 3D-моделей при изучении конструкций технологических аппаратов Usage of interactive 3D-models for studying of technological apparatus constructions.....	352
В.Д. Чикулаев V.D. Chikulaev	
Разработка web-приложения «Биржа труда» с использованием HTML, JAVASCRIPT, PHP И СУБД MYSQL Development of a web-application «labor exchange» using HTML, JAVASCRIPT, PHP and MYSQL DBMS.....	356

СЕКЦИЯ 5

«ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ»

Т.А. Лысакова, В.В. Ломакин T.A. Lysakova, V.V. Lomakin	
Методика планирования этапов исполнения ИТ-проекта Methodology of planning stages of IT-project execution	361

И.В. Свиридова, А.И. Подпругин, А.А. Воронина, Т.В. Зайцева, Н.П. Путивцева I.V. Sviridova, A.I. Podprugin, A.A. Voronina, T.V. Zaytseva, N.P. Putivtseva	
Выбор логистических поставщиков на основе метода анализа иерархий Selection of logistics suppliers on the basis of the method of analysis of hierarchies	365
И.А. Михайлов, Е.С. Боровинская I.A. Mikhailov, E.S. Borovinskaya	
Индекс пожарного риска для оценки пожароопасности на полигонах ТКО Fire risk index for assessing the fire hazard at municipal solid waste landfills	369
С.В. Гуль, С.И. Маторин S.V. Gul, S.I. Matorin	
Формализация модели трехмерной базы знаний Formalizing a three-dimensional knowledge base	372
А.Г. Жихарев, В.В. Баскакова, A.G. Zhikharev, V.V. Baskakova	
Имитационное моделирование организационно-деловых процессов как подпроцесс моделирования структуры сложных систем Simulation modeling of organizational and business processes as a subprocess of modeling the structure of complex systems.....	377
И.Ю. Квятковская, Во Тхи Хуен Чанг, Чан Куок Тоан I.Y. Kvyatkovskaya, Vo Thi Huyen Trang, Tran Quoc Toan	
Разработка меры сходства для рекомендательной системы на основе метода анализа статистической импликации Development of a similarity measure for a recommender system based on the method of analysis of statistical implication.....	381
М.А. Ситников M.A. Sitnikov	
Анализ решений и методов в области построения систем прогнозирования и поддержки принятия решений при предупреждении и контроле распространения инвазивных организмов Analysis of solutions and methods in the field of construction of forecasting and decision support systems for the prevention and control of the spread of invasive organisms	387

СЕКЦИЯ 6 «ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА»

Н.Н. Агаркова, В.Б. Васильев, И.Н. Ибадуллаева, Н.В. Эберлейн N.N. Agarkova, V.B. Vasilyev, I.N. Ibadullayeva, N.V. Eberlein	
О краевых задачах в многомерных конусах On boundary value problems in multidimensional cones	391
Е.Б. Афанасьева, В.Б. Васильев, О.Ю. Лукинова, А.А. Машинец E.B. Afanasyeva, V.B. Vasiliev, O.Y. Lukinova, A.A. Mashinets	
О дискретной эллиптической краевой задаче для псевдодифференциального уравнения в квадранте On a discrete elliptic boundary value problem for pseudo-differential equation in a quadrant.....	394

И.Н. Беляева, И.К. Кириченко, Н.Н. Чеканова I.N. Belyaeva, I.K. Kirichenko, N.N. Chekanova	
Квантование атома водорода в постоянном однородном магнитном поле методом нормальных форм Биркгофа – Густавсона Quantization of a hydrogen atom in a constant homogeneous magnetic field by the Birkhoff – Gustavson normal form method	397
В.Б. Васильев, О.А. Тарасова V.B. Vasilyev, O.A. Tarasova	
Дискретные решения псевдодифференциальных уравнений Discrete solutions pseudo-differential equations	402
Ю.П. Вирченко, В.А. Ченцова Yu.P. Virchenko, V.A. Chentsova	
Эталонное решение нелинейного уравнения теплопроводности с квадратичным массовым членом Template solution of nonlinear heat equation with quadratic mass term.....	405
Ю.П. Вирченко, Д.А. Черкашин Yu.P. Virchenko, D.A. Cherkashin	
Определение индекса племенной ценности животного на основе байесовского оценивания Determination of the breeding value index of an animal based on bayesian estimation	407
Ю.П. Вирченко, Мэхэри Теволде Амануэль Yu. P. Virchenko, Mehari Tewolde Amanuel	
Распределение вероятностей для напряжений электрического пробоя многослойной полимерной пленки Probability distribution for electric breakdown voltages of multilayer polymer film	411
Г.В. Воронина, Ю.С. Федяев G.V. Voronina, Yu.S. Fedyaev	
Математическое моделирование трёхмерной эволюции границы раздела «разноцветных» жидкостей в кусочно-однородной пористой среде Mathematical modeling of the three-dimensional evolution of the interface of «multicolored» liquids in a piecewise homogeneous porous medium	414
В.В. Вязьмин, Т.Б. Никуличева V.V. Vyazmin, T.B. Nikulicheva	
Импедансная спектроскопия композитных образцов на основе цитрогипса Impedance spectroscopy of composite samples based on citrogypsum.....	418
А.В. Глушак A.V. Glushak	
Задача Дирихле для абстрактного уравнения Эйлера – Пуассона – Дарбу The Dirichlet problem for the abstract Euler – Poisson – Darboux equations.....	422
В.И. Дорофеева, Е.Ю. Потапова V.I. Dorofeyeva, E.Yu. Potapova	
Исследование влияния полупроницаемого включения и дренажных систем на процесс оседания грунтовых вод Study of the influence of semi-permeable include and drainage systems on the process of groundwater settlement	423
Л.А. Ковалева, В.В. Большанин, Г.А. Верейтинова L.A. Kovaleva, V.V. Bolshanin, G.A. Vereitinova	
Разрешимость задачи Неймана для одного уравнения, заданного на пирамиде Solvability of the Neumann problem for a single equation given on a pyramid	429

В.В. Меньших, В.А. Никитенко V.V. Menshikh, V.A. Nikitenko	
Учёт синергетических эффектов при совместной деятельности подразделений силовых ведомств, участвующих в эвакуации из зоны чрезвычайного обстоятельства Consideration of synergetic effects in the joint activities of law enforcement agencies involved in evacuation from the emergency zone	432
В.А. Полунин V.A. Polunin	
О решениях обобщенной системы Коши – Римана On solutions of the generalized Cauchy – Riemann system	435
К.А. Рубцов, С.А. Лазарев K.A. Rubtsov, S.A. Lazarev	
О реализации алгоритмов вычисления квадратного гиперкорня 4-го порядка About the implementation of algorithms for computing the square hyperroot of the 4th order	438
С.М. Ситник, Т. Раин S.M. Sitnik, T. Rain	
Разработка программного модуля для имитационного моделирования манипулятора с пятью степенями свободы Development of program module for the simulation of a 5-dof manipulator.....	443
С.М. Ситник, Т. Раин S.M. Sitnik, T. Rain	
Создание обучающих наборов данных на основе численных методов для обучения кинематической и динамической моделей манипулятора Creation of training datasets based on numerical methods for learning the kinematic and dynamic models of a manipulator	451
Т.В. Сопова, О.В. Чернова T.V. Sopova, O.V. Chernova	
О разрешимости краевой задачи для системы первого порядка On the solvability of a boundary problem for a first order system	459
А.Б. Чернышев, А.В. Сукманов, Е.В. Мясникова A.B. Chernyshev, A.V. Sukmanov, E.V. Myasnikova	
Анализ устойчивости распределенных систем на основе разложения передаточных функций по пространственным модам Stability analysis of distributed systems based on the decomposition of transfer functions by spatial modes.....	462

МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ ПО ИТОГАМ ПЛЕНАРНОГО ЗАСЕДАНИЯ MATERIALS OF REPORTS ON THE RESULTS OF THE PLENARY SESSION

УДК 621.397

Р.В. МЕЩЕРЯКОВ, Я.А. ТУРОВСКИЙ
R.V. MESHCHERYAKOV, Y.A. TUROVSKY

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ

PERSPECTIVE FOR HUMAN-MACHINE INTERFACES DESIGN

Работа посвящена обзору человеко-машинных интерфейсов, которые направлены на совершенствование методов, способов и подходов по повышению эффективности взаимодействия человека с техническими системами. Рассматриваются как постановки задач в «классическом» понимании, так и современные подходы по применению новых решений для повышения скорости обмена сигналами между машиной и человеком. Показано, что предложенные решения позволяют получить новые эргатические киберфизические системы.

Ключевые слова: интерфейс, человек, машина, человеко-машинный интерфейс, искусственный интеллект, технология

The work is devoted to the review of human-machine interfaces, which are aimed at improving the methods and approaches to improve the efficiency of human interaction with technical systems. Both the formulation of problems in the «classical» sense, and modern approaches to the application of new solutions to increase the speed of signal exchange between a machine and a person are considered. It is shown that the proposed solutions make it possible to obtain new ergatic cyber-physical systems.

Keywords: interface, human, machine, human-machine interface, artificial intelligence, technology

Введение

Развитие эргатических систем неуклонно развивается в область снижения требований к обладанию специальными навыками и качествами и расширения количества модальностей, которые используются при взаимодействии. Вместе с тем следует отметить, что имеется несколько формализованных понятий «интерфейс»:

- точка, где встречаются и взаимодействуют две системы, субъекта, организации и т.д.;
- стандартное сопряжение блоков, определяющее число сопрягаемых линий, назначение каждой линии, содержание информации, передаваемой по каждой линии, и направление передачи, кодировку информации, временные и амплитудные характеристики сигналов по каждой линии;
- граница между двумя функциональными объектами, требования к которой определяются стандартом; совокупность средств, методов и правил взаимодействия (управления, контроля и т. д.) между элементами системы;
- общая граница, через которую передаётся информация (стандарт ISO 24765 [1]) – настоящее определение будет использоваться в текущем материале.

Следует отметить, что существующее представление согласно ГОСТ 34.1350-93 [2] имеет давнюю историю и представляет собой некоторую классификацию, которая ориентирована на использование в «классических» постановках задач обмена сигналами человека и машины.



Рисунок 1 – Структурная схема классификации интерфейсов

Виды интерфейсов

Терминал включает в себя две составные части – средство ввода информации: клавиатура/мышь/ перфокарты/диски/ ленты и средство вывода информации: монитор/принтер (как правило, представленное в мнемокоде).



Рисунок 2 – Терминал. ПО

<https://www.timetoast.com/timelines/%D0%BF%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F-%D1%8D%D0%B2%D0%BC--17>

С появления первых больших вычислительных машин прошло много времени и активно вычислители встраиваются в робототехнические средства что позволяет сформировать два направления по: степени автономности: дистанционное управление (в т.ч. копирующее – аватар); автономное (в разной степени) и по выполняемой целевой функции: выполнение действий исполнительным механизмом (схват/измерение...); движение (перемещение); получение информации с машины.

Использовались и сейчас используются следующие интерфейсы: последовательный интерфейс. HART, RS-485, RS-422A, RS-423A, RS-232, MIDI, FireWire, USB и др; параллельный интерфейс: Centronics, IEEE 1284. Следует отметить ГОСТ 27696-88. Роботы промышленные. Интерфейсы. Технические требования, а также сетевой интерфейс CAN (Controller Area Network) / Ethernet. В области беспроводных интерфейсов распространение получили следующие: IrDA – ИК, лазерный канал, Bluetooth, LoRaWAN (IoT), ZegBee (возм. mesh), WiFi, G2-G6, RFID.

Вместе с тем идет развитие и в области речевых/голосовых интерфейсов. Достоинства таких интерфейсов: возможность взаимодействия на естественном языке в привычной форме для человека, возможность использования неструктурированных команд, высвобождение рук от пульта. Также активно развиваемая перспектива – жестовый интерфейс

Бурное развитие биологических интерфейсов вводит некоторые ограничения на его использование. Любой подвид биологического интерфейса состоит из системы регистрации сигналов с пользователя, обработки этих сигналов, классификации результатов обработки и управления устройством-эффектором (названо по аналогии с Функциональной системой П.К. Анохина). Для улучшения работы интерфейса наблюдаются неоднократные попытки использовать методы машинного обучения. Однако, для разных элементов интерфейса частота их применимости разная: больше всего в задачах классификации, практически нет в задачах регистрации сигнала.

При этом для управления техническими средствами (роботами) с использованием биологических интерфейсов используются две базовых концепции:

- а) замещающее управление – замещение утраченных функций,
- б) дополнительное управление – получение новых каналов управления в дополнение к полному комплексу существующих.

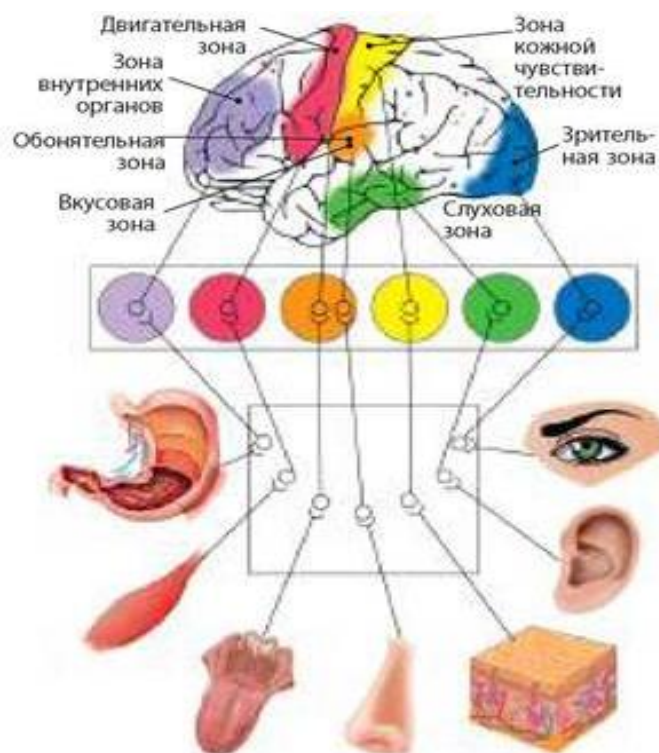


Рисунок 3 – Органы чувств

<https://onlinetestpad.com/ru/testview/1050595-analizatory-sensornye-sistemy>

Классификация рецепторов по характеру ощущений:

- Зрительный;
- Слуховой;
- Обонятельный;
- Тактильный;
- Болевой;
- Положения в пространстве.

Наиболее распространенные интерфейсы:

- Графический;
- Жестовый;
- Голосовой;
- Нейроинтерфейс.

Концепция применения различных биологических интерфейсов представлена на рисунке.

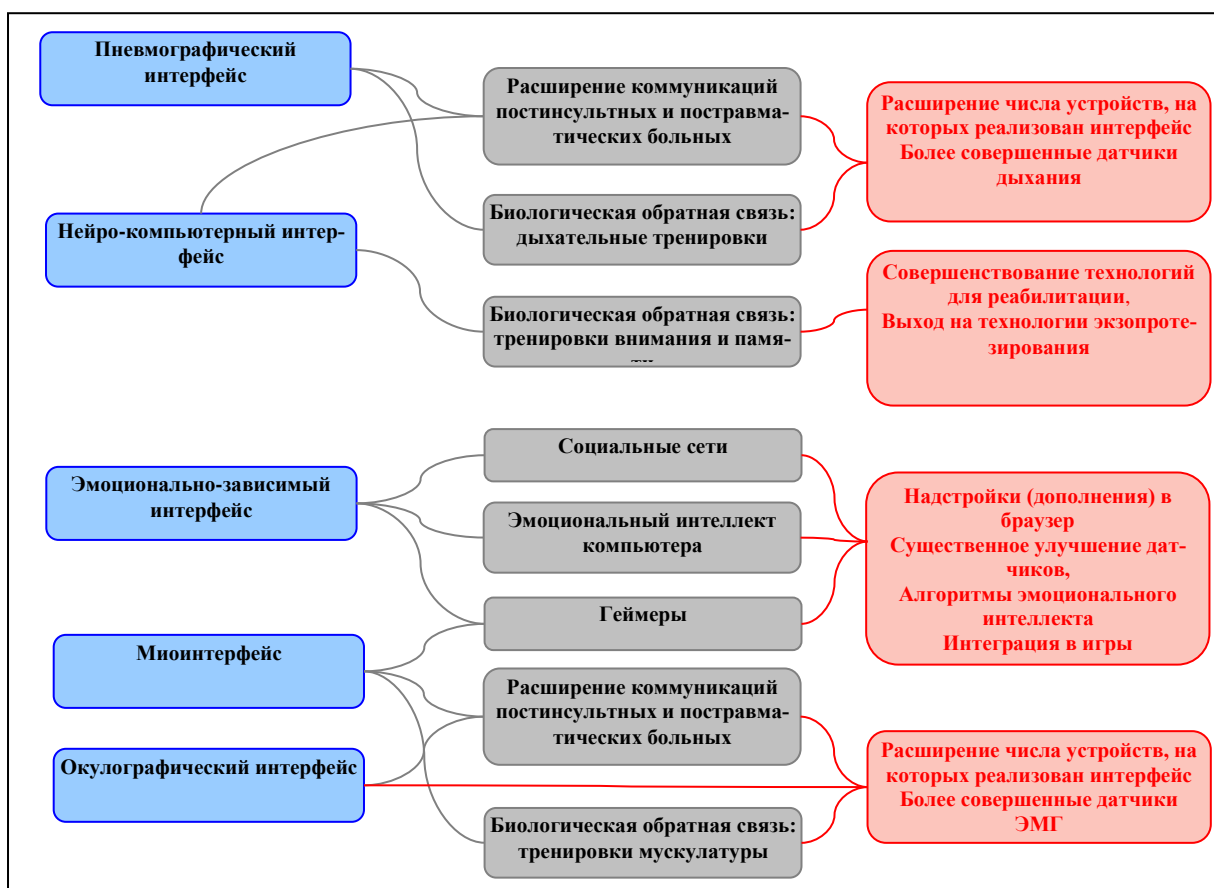


Рисунок 4 – Концепция применения интерфейсов [3]

Решение может найти пути:

1. Создание новых интерфейсов человек-робот (окулографических, мозг-компьютер, миографических и т.д.).
2. Создание обратной связи робот-человек (тактильная, проприцептивная, температурная).
3. Создание искусственного эмоционального интеллекта для роботизированных систем.
4. Воспроизведение, в рамках робототехнических систем паттернов поведения пользователя.

Перечислим некоторые наиболее распространенные и наиболее активно развивающиеся виды биологических интерфейсов

1. Окулографический интерфейс (управление объектами движением глаз), в т.ч. и через VR/AR очки. Целевая группа: Люди с ограниченными возможностями, Дополненное управление,

например, компьютерами и автомобилями (фары на повороте), Разработки для ВПК (авиация, спецподразделения).

2. Нейрокомпьютерный (мозг-компьютер) интерфейс – выработка команд на основе электрической активности мозга пользователя в условиях его свободного перемещения (управление «силой мысли»). В т.ч. и через VR/AR очки. Целевая группа: 1. Системы реабилитации и тренировки людей с ограниченными возможностями. 2. Mind-машины: тренировки концентрации внимания в задачах управления, проектирования эргатических систем. [4]

3. Тактильная, температурная и проприоцептивная обратная связь робот-человек

4. Искусственный эмоциональный интеллект. Информационная система оценки стресс-состояния пользователя (прототип ИЭИ) на основе варибельности сердечного ритма (не путать со значениями пульса). Возможности использовать систему в чатах и играх. Обоснование критериев оценки состояния пользователя как для цифровой обработки сигналов, так и для физиологических компонент.

5. Анализ направления взгляда. [5,6]

6. Миографический интерфейс и системы обратной связи устройство-пользователь.

7. Дыхательный интерфейс изменение режима дыхания – скорости и времени вдоха и выдоха служит командами на внешние устройства.

8. Стресс-зависимый (эмоционально-зависимый интерфейс). Целевая группа: Эмоциональный компонент со стороны любого программного обеспечения. Изменение приоритетов и работы ПО в зависимости от эмоций пользователя. Маркетинг. Новый функционал в играх. Новый функционал в социальных сетях (разработанная сеть EmoNet).

9. Искусственный интеллект, имитирующий действия пользователя. Регистрация и выделение специфических алгоритмов принятия решений пользователем. Перенос подходов в принятии решений (не всегда оптимальных!) конкретным пользователем на роботизированную систему. Активация алгоритмов в автономной роботизированной системе при идентификации нерешенной задачи как уже решенной пользователем.

Заключение

Развитие, проектирование, внедрение социкиберфизических систем (человек, машины, роботы, технические и вычислительные системы, IoT, IoE...) является неотъемлемой частью развития технологического процесса. Создание и развитие технических средств взаимодействия с машиной, включая интерфейсы и гибридный интеллект будет развиваться как со стороны человека – приспособление, так и развитие технологий.

Следует отметить необходимость создание правил управления для машин эквивалентных понятию морали для человека.

Работа поддержана грантом РНФ 23-19-00664 «Взаимная адаптация пользователей и интерфейсов человек-компьютер (мозг-компьютер, окулографических, миографических): методика, алгоритмы, программная реализация».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ISO/IEC/IEEE 24765:2017 Systems and software engineering — Vocabulary
2. ГОСТ Р 34.1350-93 ИНТЕРФЕЙСЫ ДЛЯ СОПРЯЖЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ.
3. Туровский Я.А., Бирин Д.А., Мещеряков Р.В. Концепция использования биологических интерфейсов в управлении техническими устройствами // В сборнике: Перспективные системы и задачи управления. Материалы XVII Всероссийской научно-практической конференции и XIII молодежной школы-семинара. Таганрог, 2022. С. 137-139.
4. Мещеряков Р.В., Вольф Д.А., Туровский Я.А. Автокодировщик электрической активности головного мозга человека // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математика. Механика. Физика. 2023. Т. 15. № 1. С. 34-42.

5. Туровский Я.А., Харченко С.С., Мещеряков Р.В., Исаков А.Ю., Исакова А.О. Алгоритмическое обеспечение интерфейса управления робот-человек при выделении зрительных вызванных потенциалов на основе многомерного индекса синхронизации // Известия ЮФУ. Технические науки. 2020. № 1 (211). С. 66-78.

6. Kharchenko S., Meshcheryakov R., Turovsky Y., Volf D. Implementation of robot-human control bio-interface when highlighting visual-evoked potentials based on multivariate synchronization index // Smart Innovation, Systems and Technologies. 2021. Т. 187. С. 225-236.

Мещеряков Роман Валерьевич

ИПУ РАН, г. Москва

Главный научный сотрудник, д.т.н., проф.

Тел. +7 495 334-89-10

E-mail: mrv@ieee.org

Туровский Ярослав Александрович

ИПУ РАН, г. Москва

Ведущий научный сотрудник, д.т.н., доцент

Тел. +7 495 334-89-10

E-mail: yaroslav_turovsk@mail.ru

УДК 519.677.57

 Ф.Ж. САДЫРБАЕВ
 F.Zh. SADYRBAEV

О ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ В ТЕОРИИ СЕТЕЙ

ON CONTROL PROBLEMS IN THE NETWORKS THEORY

Рассматриваются задачи управления траекториями в математической модели сетей определенного вида. Это могут быть геновые регуляторные сети. Математическая модель, использующая обыкновенные дифференциальные уравнения, характеризуется наличием аттракторов в системе дифференциальных уравнений. Актуальной является задача переориентирования заданной траектории к «нужному» аттрактору. Это может достигаться целенаправленным изменением параметров системы.

Ключевые слова: геновые сети, управление, фазовая плоскость

The problems of managing trajectories in a mathematical model of networks of a certain type are considered. These can be gene regulatory networks. A mathematical model using ordinary differential equations is characterized by the presence of attractors in a system of differential equations. The task of redirecting a given trajectory to the «right» attractor is urgent. This can be achieved by purposefully changing the parameters of the system.

Keywords: gene networks, control, phase plane

Введение

Полная управляемость в системе дифференциальных уравнений (ДУ) понимается как возможность, изменяя параметры, соединить траекторией системы любые две точки фазового пространства. Например, в системе двух автономных уравнений

$$\begin{cases} x' = f(x, y, w, \theta) - v x, \\ y' = g(x, y, w, \theta) - u y, \end{cases} \quad (1)$$

где функции f и g непрерывны и ограничены, эта задача выглядит так: изменяя параметры θ , u , v , при заданных w , изучить возможность соединить траекторией две точки (x_0, y_0) и (x_1, y_1) .

Без дополнительной информации о функциях f и g ответа нет. Есть ответ на менее ограничительную задачу – соединить траекторией, причем за указанное время, два подмножества фазового пространства. Классическая теория краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений гласит, что если однородная задача имеет только тривиальное (ненулевое) решение, то исходная задача разрешима. Например, задача $x(0)=A$, $y(T)=B$ для системы (1) разрешима при любых A, B, T , поскольку однородная задача

$$\begin{cases} x' = -v x, \\ y' = -u y, \\ x(0) = 0, \quad y(T) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

имеет лишь тривиальное решение. Напротив, в задаче для системы (1) с краевыми условиями $x(0)=A$, $x(T)=B$ нельзя сделать заключения о существовании решения, поскольку однородная задача

$$\begin{cases} x' = -v x, \\ y' = -u y, \\ x(0) = 0, \quad x(T) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

имеет нетривиальные решения вида $(0, C e^{-ut})$.

Система ОДУ

В каждой клетке живого организма присутствует геновая сеть, которая ответственна за развитие организма и реакции организма на изменения в окружающей среде. Эта сеть устроена

в несколько уровней и в упрощенном понимании может быть представлена как сообщество элементов, взаимодействующих друг с другом.

Взаимодействие осуществляется эмиссией протеинов, которые действуют на других участников сети. Прямое изучение генных сетей (GRN – Gene Regulatory Networks) затруднительно, поэтому предпринимались и предпринимаются активные попытки их моделирования, в том числе и математически. Особенно употребительные математические модели используют Булевы алгебры, Теорию графов и Дифференциальные уравнения.

Состояния генных сетей во времени удобно описывать с помощью систем обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). При этом решения этих систем, если их (решения) удастся найти, дают представление о будущих состояниях биологического объекта (организма). Так возникает задача об изучении асимптотических состояний данной системы ОДУ. Система ОДУ, описывающая эволюцию генной сети в весьма упрощенном виде, имеет форму

$$\begin{cases} x_1' = \frac{1}{1+e^{-\mu_1(w_{11}x_1+w_{12}x_2+\dots+w_{1n}x_n-\theta_1)}} - x_1, \\ \dots \quad \dots \quad \dots \\ x_n' = \frac{1}{1+e^{-\mu_n(w_{n1}x_1+w_{n2}x_2+\dots+w_{nn}x_n-\theta_n)}} - x_n, \end{cases} \quad (4)$$

где каждое уравнение описывает поведение одного элемента сети. Влияние каждого элемента сети на другие элементы описывается т.н. регуляторной матрицей

$$W = \begin{pmatrix} w_{11} & \dots & w_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{n1} & \dots & w_{nn} \end{pmatrix}.$$

Если, например, элемент w_{12} положителен, то это означает активацию первого элемента сети вторым, если отрицателен – происходит угнетение (ингибция). В качестве нелинейности использована сигмоидальная функция $f(z) = \frac{1}{1+e^{-\mu z}}$. Другие сигмоидальные функции также могут быть использованы.

Вектор решений системы ОДУ $X(t)=(x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))$ описывает состояние биологической (генной) сети в данный момент времени t . Знание поведения $X(t)$ позволяет предвидеть поведение генной сети и, что важно, изменяя параметры системы ОДУ, влиять на генную сеть.

Целевая управляемость

В статье [1] коллектив авторов, среди которых биологи и математики, рассмотрели реальную генную сеть, состоящую из 60 элементов, находящуюся в условиях прогрессирующей болезни с названием "large granular lymphocyte leukaemia associated with blood cancer." Схема с названиями элементов и наглядным описанием связей приводится в [1]. Математическая модель имеет вид (4), и состоит из 60 уравнений. В качестве сигмоидальной нелинейности выбрана функция Хилла $h(z) = \frac{z^n}{\mu^n + z^n}$. Утверждалось, что сеть состоит из 60 элементов (генов), названия которых указаны на схеме, описывающей взаимосвязи между элементами. В математической модели болезнь интерпретировалась, как стремление траектории, соответствующей состоянию сети, к «плохому» аттрактору. Этот аттрактор являлся 60-мерной устойчивой критической точкой (состоянием равновесия). Наряду с описанным плохим аттрактором в системе были обнаружены два других аттрактора, названные «нормальными». Для излечения предлагалось найти способ, изменяя некоторые параметры системы, переориентировать её к «нормальному» аттрактору. Таким образом, возникает задача ограниченного управления системой. Пусть в данной системе существует несколько притягивающих критических точек P_i , с соответствующими областями притяжения V_i . Пусть в начальный момент времени вектор состояния системы $X(t)$ находится в области притяжения V^* «плохого» аттрактора. Задача: вывести траекторию $X(t)$ из области V^* («вылечить»).

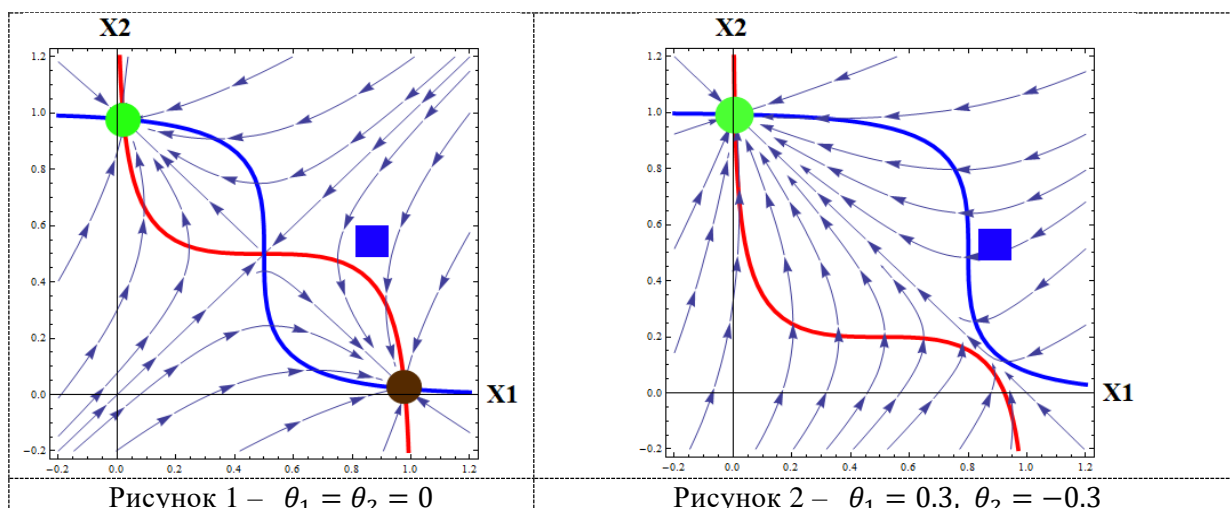
Примеры

В качестве примера рассмотрим двумерную систему вида (4)

$$\begin{cases} x_1' = \frac{1}{1+e^{-\mu_1(w_{11}x_1+w_{12}x_2-\theta_1)}} - x_1, \\ x_2' = \frac{1}{1+e^{-\mu_2(w_{21}x_1+w_{22}x_2-\theta_2)}} - x_2, \end{cases} \quad (5)$$

где матрица $W=\{(1,-1),(-1,1)\}$, $\mu_1 = \mu_2 = 4$, $\theta_1 = \theta_2 = 0$.

На первом рисунке изображено векторное поле системы (5) в ограниченной области, содержащей два аттрактора, один из которых «нормальный» (в левом верхнем углу), а другой – условно «плохой» (в правом нижнем углу). Даны также изоклины нуля, пересечение которых определяет критические точки. Текущее состояние системы изображено квадратом. Система находится в области притяжения нижнего аттрактора.



Ставится задача перенаправить траекторию системы к верхнему аттрактору. Для этого используются два параметра θ_1 и θ_2 . Им присвоены новые значения, и получившаяся картина дается рисунком 2. Изоклины нуля разомкнулись, и в системе остался один (верхний) аттрактор, к которому стремится траектория, начальное значение которой изображено квадратом. Задача выполнена. После того, как квадрат, перемещающийся по траектории, окажется близко к верхнему аттрактору, значения параметров можно вернуть, и система возвращается в первоначальное состояние. Но текущее значение системы уже в области притяжения верхнего аттрактора. Какие параметры можно изменять, зависит от конкретной задачи. В этой связи упомянем статьи [2], [3].

Установление связи между математической моделью и практическими случаями является актуальной задачей и требует междисциплинарного сотрудничества.

Заключение

Из вышесказанного вытекает важность и актуальность изучения притягивающих множеств (аттракторов) систем ОДУ (частный случай динамических систем). Для двумерных систем (состоящих из двух элементов) найдены и рассмотрены [2] аттракторы в виде устойчивых состояний равновесия (регулярных или вырожденных) и устойчивых периодических (замкнутых) траекторий. Для трехмерных систем возможны аттракторы в виде устойчивых состояний равновесия. Численно обнаружены аттракторы в виде периодических решений. Возможны двух и трехкомпонентные аттракторы, компоненты которых являются замкнутыми траекториями. Обнаружены аттракторы с хаотическим поведением решений. По мнению ряда авторов, жизнь неразрывно связана с наличием хаотических состояний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Le-Zhi Wang, Ri-Qi Su, Zi-Gang Huang, Xiao Wang, Wen-Xu Wang, Celso Grebogi and Ying-Cheng Lai. A geometrical approach to control and controllability of nonlinear dynamical networks. Nature Communications, Volume 7, Article number: 11323 (2016), DOI:10.1038/ncomms11323
2. D. Ogorelova, F. Sadyrbaev I. Samuilik I. On Targeted Control over Trajectories of Dynamical Systems Arising in Models of Complex Networks. Mathematics 2023, 11(9), 2206; <https://doi.org/10.3390/math11092206>
3. D. Ogorelova, F. Sadyrbaev I. Samuilik I. A Nullclines Approach to the Study of 2D Artificial Network, Contemporary Mathematics, Volume 1, Issue 1 (2019), ISSN: 2705-1064 (Print) 2705-1056 (Online) <http://ojs.wiserpub.com/index.php/CM/issue/view/4>

Садырбаев Феликс Жармухамедович

Институт математики и информатики Латвийского университета

PhD, ведущий научный сотрудник

Тел.: +371 26701380

E-mail: felix@latnet.lv

УДК 330.47

А.В. АРТЕМОВ, В.Н. ВОЛКОВ
A.V. ARTEMOV, V.N. VOLKOV

РАЗВИТИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЩЕСТВА НА ТЕРРИТОРИИ ОРЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ

THE INFORMATION SOCIETY DEVELOPMENT IN THE OREL REGION

В данной статье освещается опыт Орловской области по реализации региональных проектов национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации», описана деятельность многофункциональных центров предоставления государственных и муниципальных услуг.

Ключевые слова: цифровая экономика, государственные и муниципальные услуги

This article highlights the experience of the Orel region in the implementation of regional projects of the national program «Digital Economy of the Russian Federation», describes the activities of multifunctional centers for the provision of state and municipal services.

Keywords: digital economy, state and municipal services

Введение

Цифровизация всех сфер деятельности в Орловской области осуществляется в соответствии с постоянно актуализируемой Государственной программой «Развитие информационного общества на территории Орловской области». Основными задачами определены:

1. Обеспечение отдельных органов исполнительной власти материально-технической базой в сфере информационных и телекоммуникационных технологий.
2. Обеспечение информационной безопасности информационно-телекоммуникационной инфраструктуры.
3. Организация предоставления государственных и муниципальных услуг на базе многофункциональных центров предоставления государственных и муниципальных услуг.
4. Обеспечение доступом к сети Интернет социально значимых объектов.
5. Совершенствование государственного управления за счет использования цифровых технологий.

В рамках программы осуществляются мероприятия по реализации региональных проектов национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации».

Кадры для цифровой экономики

В 2022 году в рамках реализации регионального проекта «Кадры для цифровой экономики» велась активная работа по формированию у заинтересованных лиц компетенций цифровой экономики, проводилось обучение по программам «Цифровая трансформация и цифровая экономика: технологии и компетенции», «Основы цифровой трансформации», «Внедрение платформы государственных сервисов» и «Внедрение платформы обратной связи».

Обучение проводилось центром подготовки руководителей и команд цифровой трансформации высшей школы государственного управления Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, а также университетом «Иннополис». Предусмотренный проектом на 2022 год показатель «Количество государственных (муниципальных) служащих и работников учреждений, прошедших обучение компетенциям в сфере цифровой трансформации государственного и муниципального управления» в Орловской области выполнен на 116 %.

В нашем регионе на постоянной основе в общеобразовательных учреждениях проводится «Урок цифры» – образовательный проект для школьников, реализующийся с декабря 2018 года по инициативе Министерства просвещения Российской Федерации, Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации и АНО «Цифровая экономика». Проект позволяет обучающимся развить цифровые компетенции, помогает им определиться с профессией. Каждое занятие проекта «Урок цифры» максимально доступно и в интерактивной форме доносит знания

до обучающихся о современных технологиях и цифровом мире, тем самым создавая у детей и подростков доверительное отношение к тем вещам, которые сейчас окружают нас ежедневно. В 2022 году продолжили практику привлечения к проведению «Уроков цифры» с ведущих специалистов ИТ-компаний региона.

В текущем году продолжается работа по популяризации ИТ-специальностей в Орловской области, направленную на повышение заинтересованности школьников и студентов образовательных организаций среднего профессионального образования к поступлению на направления подготовки высшего образования в сфере информационных технологий.

Информационная инфраструктура

В рамках реализации регионального проекта «Информационная инфраструктура» на территории Орловской области подключен к сети Интернет 891 социально значимый объект, в том числе: 279 государственных или муниципальных образовательных организаций, 164 органа местного самоуправления, 398 фельдшерско-акушерских пунктов, 29 пожарных частей, 21 библиотека. Во всех социально значимых объектах, подключенных в рамках проекта, обеспечено предоставление услуги доступа к сети Интернет. Также на основе инфраструктуры сети, построенной в рамках проекта уже более 900 домохозяйств Орловской области подключено к сети Интернет.

Также проводились мероприятия по цифровизации мировых судов, а именно: организовано подключение к сети Интернет судебных участков мировых судей Орловской области, построена система защиты информации для создания защищенного межведомственного электронного взаимодействия на судебных участках мировых судей Орловской области.

В рамках проекта по устранению «цифрового неравенства», предусматривающего строительство сетей связи в населенных пунктах с численностью населения от 100 до 500 жителей, в которых не оказываются услуги по передаче данных и предоставлению доступа к сети Интернет осуществляется строительство базовых станций, обеспечивая доступ жителей к сети Интернет. В 2022 году в Орловской области построено 24 новые базовые станции, на 2023 год запланировано строительство не менее 34.

Операторы связи продолжили работы по строительству волоконно-оптических линий связи. В 2022 году регионе построено более 430 километров оптоволоконных сетей. Сеть связи «четвертого поколения» доступна более чем 80 процентам населения Орловской области. В местах со сложным рельефом местности и низкой плотностью населения операторы мобильной связи продолжают поддерживать и развивать сети в стандарте 2G и 3G.

Цифровое государственное управление

Продолжается реализация мероприятий, связанных с развитием инфраструктуры электронного правительства:

1. Сопровождение и развитие региональной инфраструктуры электронного правительства, обеспечивающей оказание государственных и муниципальных услуг в электронном виде посредством Единого портала государственных и муниципальных услуг.

2. Обеспечение функционирования государственной информационной системы Орловской области «Региональный реестр государственных и муниципальных услуг Орловской области».

3. Развитие региональной системы межведомственного электронного взаимодействия.

На территории Орловской области реализуется проект перевода массовых социально значимых услуг в электронный формат. Региональный перечень услуг включает 83 услуги, все из которых в настоящее время выведены на Единый портал государственных и муниципальных услуг и доступны для получения в электронном виде.

Можно отметить высокий процент жителей Орловской области, зарегистрированных в ЕСИА. По данному показателю регион занял 5 место в рейтинге субъектов Российской Федерации. Всего за 2022 год жителями региона направлено более 2 миллионов обращений на получение государственных и муниципальных услуг в электронном виде.

На платформе обратной связи (ПОС) созданы и функционируют 1171 личный кабинет организаций для органов власти, органов местного самоуправления, подведомственных организаций, в том числе 273 новых личных кабинета созданы в 2022 году. Всего же в прошедшем году в Орловской области на платформу поступило 9357 сообщений. Также посредством ПОС проведено 265 областных и муниципальных мероприятий по выявлению мнения граждан посредством общественного голосования.

В 2022 году продолжилась реализация мероприятий, направленных на организацию и обеспечение доступа жителей Орловской области к услугам в электронном виде, в том числе на повышение удобства регистрации граждан в Единой системе идентификации и аутентификации. В 2022 году дополнительно зарегистрировано 10 новых центров обслуживания ЕСИА в отделе МФЦ и кредитных организациях. Таким образом в Орловской области действуют 292 центра обслуживания ЕСИА.

Также в рамках реализации мероприятий проекта «Цифровое государственное управление» функционирует портал «Обращаем внимание», разработанный в целях обеспечения интерактивного взаимодействия с населением Орловской области для выявления и решения проблемных вопросов, выявления и учета мнения граждан при исполнении органами власти установленных полномочий и выполнении подведомственными им организациями возложенных функций, проведения голосований, опросов по различным вопросам, темам, затрагивающим интересы населения Орловской области.

Значимым для нас в 2022 году стал ввод в промышленную эксплуатацию системы электронного документооборота, в которой сейчас насчитывается более 1800 пользователей. Осуществлена адаптация системы в соответствии со спецификой деятельности: выработаны правила настройки, заведена структура органов власти, созданы учетные записи, назначены роли пользователей. С начала внедрения системы зарегистрировано более 250 тыс. документов. К системе электронного документооборота подключены все органы исполнительной власти, органы местного самоуправления Орловской области, активно подключаются сельские поселения.

МФЦ

В настоящее время сеть многофункциональных центров предоставления государственных и муниципальных услуг в Орловской области включает в себя 27 обособленных подразделений МФЦ в каждом муниципальном образовании. Общее количество окон обслуживания составляет 307 единиц. На текущий момент в МФЦ Орловской области организовано предоставление 350 государственных и муниципальных услуг.

За 2022 год в МФЦ Орловской области предоставлено 263 586 государственных и муниципальных услуг. В целях повышения качества обслуживания и лояльности посетителей, весной 2022 года в МФЦ прошло внедрение новой системы управления очередью, которая стала современным инструментом оптимизации потока клиентов и улучшения качества обслуживания посетителей.

Заключение

Целью цифровой трансформации отраслей экономики, социальной сферы и государственного управления Орловской области является достижение высокой степени цифровой зрелости основных отраслей экономики, социальной сферы и государственного управления для оказания качественных государственных услуг населению и бизнесу, формирования качественной и безопасной среды для жизни и развития, обеспечения доступности и качества образования, здравоохранения и социальной поддержки. Принятая стратегия цифровой трансформации Орловской области содержит 29 цифровых проектов в сфере образования и науки, здравоохранения, развития городской среды, транспорта и логистики, государственного управления, промышленности, безопасности, кадрового обеспечения цифровой экономики, социальной сфере.

Артемов Андрей Владимирович

Правительство Орловской области, г. Орел

К.т.н., доцент, член Правительства Орловской области - руководитель Департамента информационных технологий Орловской области

Тел. +7 (4862) 59-78-13

E-mail: dit@adm.orel.ru

Волков Вадим Николаевич

Департамент информационных технологий Орловской области

К.т.н., доцент, заместитель руководителя Департамента - начальник управления информационных технологий Департамента информационных технологий Орловской области

Тел. +7 (4862) 59-88-51

E-mail: vvn@adm.orel.ru

УДК 378.046:004:63

И.С. КОНСТАНТИНОВ, М.Н. СТЕПАНЦЕВИЧ, М.И. ГОРБАЧЕВ
I.S. KONSTANTINOV, M.N. STEPANTSEVICH, M.I. GORBACHEV**ИНСТРУМЕНТЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ АГРАРНОГО
ВУЗА****TOOLS FOR DIGITAL TRANSFORMATION OF AGRARIAN
UNIVERSITY**

В данной статье авторы рассматривают вопрос создания цифровой экосистемы аграрного вуза, основанной на инструментах цифровой трансформации вуза в сфере образовательной политики; научно-исследовательской деятельности, трансфера знаний и технологий, коммерциализации разработок; молодежной политики; кампусной и инфраструктурной политики, а также политики в области открытых данных. В исследовании отражены основные показатели оценки эффективности цифровизации аграрного университета.

Ключевые слова: кадровый потенциал; цифровая трансформация; аграрный вуз; цифровой сервис; эффект.

In this article, the authors consider the issue of creating a digital ecosystem of an agricultural university based on the tools for digital transformation of a university in the field of educational policy; research activities, transfer of knowledge and technologies, commercialization of developments; youth policy; campus and infrastructure policies, and open data policies. The study reflects the main indicators for evaluating the effectiveness of the digitalization of an agricultural university.

Keywords: personnel potential; digital transformation; agricultural university; digital service; effect.

В настоящее время агропромышленный комплекс, как и другие отрасли народного хозяйства РФ, активно вовлечен в процесс цифровой трансформации. Совершенствование механизмов формирования добавленной стоимости в АПК идет по пути цифровой трансформации всех бизнес-процессов и создания единого цифрового пространства АПК на основе применения информационно-коммуникационных и «сквозных» цифровых технологий. Развитие сельских территорий является сегодня государственным приоритетом [4]. Наряду с этим в регионах России наблюдается отток молодых и наиболее перспективных кадров в столицу и крупные города. Наблюдаемые тенденции требуют проведения эффективных мероприятий, направленных на обеспечения необходимого баланса на региональных рынках труда и снижения социальной напряженности [1]. Цифровая трансформация АПК требует достаточного количества подготовленных кадров, имеющие глубокие знания и практические навыки в области цифровизации АПК, поэтому основой цифровизации АПК РФ является прежде всего кадровый потенциал, так как именно специалисты АПК различных уровней будут внедрять и поддерживать цифровые решения для цифровой трансформации агробизнеса [5].

В основном специалистов с высшим образованием для АПК выпускают аграрные вузы. В РФ успешно функционируют 54 аграрных вуза, расположенных в различных регионах страны. Современный аграрный вуз имеет информационную экосистему, от которой во многом зависит качество образовательного процесса, социальной и научно-исследовательской деятельности. Развитие цифровой экосистемы аграрного вуза требует постоянного совершенствования, в основе которого лежит создание и развитие адаптивной модели цифровизации [2]. Адаптивная модель цифровой экосистемы аграрного вуза представляет собой совокупность сервисов и контента для обучающихся и педагогических работников, а также прочих категорий работников и граждан в целях организации построения цифровой образовательной среды университета.

Основные инструменты развития адаптивной модели цифровой экосистемы аграрного вуза направлены на создание, совершенствование и поддержку следующих направлений цифровизации:

1. Образовательная политика университета за счет:

- платформы управления обучением, в том числе для непрерывного образования, которая предполагает наличие совокупности инструментов управления обучением на основе индивидуальных учебных планов и профиля цифровых компетенций, системы объективного оценивания обучающихся, включающей оценку цифровых компетенций, и обеспечивает для всех категорий обучающихся доступ по принципу «одного окна» к образовательным ресурсам, реализуемым университетом, а также внешним ресурсам;

- личного кабинета абитуриента (на русском и иностранных языках), обеспечивающего абитуриенту возможность подачи документов, сдачи вступительных испытаний и получения сведений справочного характера;

- личного кабинета студента, аспиранта, докторанта на русском и иностранных языках, интегрирующего индивидуальный план обучения и научной деятельности, динамическую модель компетенций с доступом к внутренним и внешним информационным сервисам (библиотека, научные базы данных и знаний, онлайн-курсы на внутренней и внешних образовательных платформах) и коммуникационные возможности;

- личного кабинета преподавателя и сотрудника на основе инструментов, обеспечивающих выполнение комплекса задач по ведению всех видов деятельности;

- сервиса управления образовательной деятельностью – мониторинг текущего состояния учебного процесса и его ресурсного обеспечения (проведение занятий, планирование и распределение загрузки аудиторий, составление расписаний и др.);

- сервиса управления учебно-методической работой – создание (планирование) и мониторинг рабочих учебных планов, ОПОП, обеспеченности библиотечного фонда, подготовка документов для самообследования и лицензирования новых направлений деятельности;

- сервиса для проведения организационных мероприятий (совещаний, заседаний различных уровней);

- системы объективного оценивания обучающихся и работников, включающей оценку цифровых компетенций;

- сервиса электронного документооборота;

- сервиса управления профориентационной деятельностью – мониторинг работы приемной комиссии;

- аналитический модуль мониторинга текущих параметров деятельности университета (посещение, работа оборудования, доступность ресурсов и др.).

2. Научно-исследовательская деятельность, трансфер знаний и технологий, коммерциализация разработок за счет:

- сервиса проведения исследований и разработок, а также учета результатов научно-исследовательской работы и результатов интеллектуальной деятельности;

- системы продвижения результатов научно-исследовательской работы и результатов интеллектуальной деятельности на основе сервиса взаимодействия с партнерами (личный кабинет партнера);

- сервиса планирования мониторинга и управления проектами научно-исследовательской и научно-методической деятельности (аналитика исследований);

- сервиса управления информационно-библиотечными ресурсами на основе интерактивных инструментов;

- сервиса мониторинга деятельности диссертационных советов, докторантов, аспирантов;

- сервиса подготовки и издания учебной и методической литературы.

3. Молодежная политика за счет:

- сервиса по организации мероприятий по работе со студентами во внеучебное время (проведение массовых мероприятий, опросов, факультативных занятий, посещение отраслевых выставок, крупных предприятий);

- сервиса по взаимодействию с работодателями (ярмарка вакансий);

- сервиса по взаимодействию с абитуриентами (день открытых дверей).

4. Кампусная и инфраструктурная политика, основанная на:

- сервисе кампуса, обеспечивающего обучающимся возможность получения услуг кампуса университета (заселения, выселения, получения бытовых услуг и т.д.);

- Service Desk – сервисе технической поддержки пользователей;
- корпоративной почте, мессенджере и других инструментах оперативной связи между ППС и обучающимися;
- сервисе заказа справок, опросов и обратной связи через электронный документооборот, обеспечивающий взаимодействие между деканатами, общеобразовательными службами и обучающимися, в том числе между преподавателями и администрацией университета;
- сервисе оплаты (инструмент по оплате любых видов потребностей обучающихся и получение необходимых справок);
- сервисе эффективного контракта, обеспечивающего ППС возможность представления и мониторинга информации о показателях эффективного контракта;
- системе контроля и управления доступом на всей территории университета;
- сервисной шине данных на всей территории университета;
- сервисе презентационной работы в групповых проектах, проведения онлайн совещаний, видеоконференцсвязи в режиме «подвижной мобильности».

5. Политика в области открытых данных за счет внедрения:

- сервиса формирования и работы с открытыми данными (публичная отчетность и ее расширение при необходимости);
- сервиса представления открытых данных (на сайт университета, во внешние организации);
- сервиса по работе с обращениями граждан, организаций, организация работы с референтными группами;
- сервиса для работы пресс-службы и проведения независимой антикоррупционной экспертизы.

6. Отраслевой центр компетенций в области сельского хозяйства за счет организации:

- сервиса по мониторингу потребностей рынка труда и изучению спроса на отраслевых специалистов (интеграция с рекрутинговыми агентствами, социальными сетями и др.);
- сервиса по мониторингу занятости студентов;
- сервиса по обмену опытом с ведущими представителями аграрной отрасли.

Основные индикаторы эффективности цифровой трансформации в области образования отражены в федеральном проекте «Кадры для цифровой экономики» национальной программы «Цифровая экономика» и в федеральном проекте «Цифровая образовательная среда» национального проекта «Образование» [3]. На основе вышеперечисленных нормативных правовых актов и указанных направлений создания цифровой экосистемы аграрного вуза предлагаем следующие показатели оценки эффективности цифровой трансформации аграрного университета:

1. Количество сервисов цифровой экосистемы университета, доступных различным категориям пользователей (по 6 направлениям), шт.
2. Количество образовательных ресурсов, доступных для внешних пользователей в режиме онлайн, шт.
3. Количество наборов, открытых данных, доступных для внешних пользователей в режиме онлайн.
4. Количество реализованных цифровых модулей в ОПОП, шт.
5. Снижение трудоемкости основных и вспомогательных бизнес-процессов, чел-ч / шт.
6. Снижение себестоимости оказания образовательных услуг, %.
7. Повышение уровня цифровой зрелости образовательного учреждения, %.

Таким образом, внедрение в цифровую экосистему вуза указанных выше инструментальных средств (цифровых сервисов) обеспечит рост интереса молодежи к аграрным вузам, позволит организовать подготовку высоко эрудированных специалистов в области агропромышленного комплекса, повысит привлекательность аграрных специальностей и будет способствовать росту притока квалифицированных кадров в сельское хозяйство.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Машкова, А.Л., Маматов, А.В., Константинов, И.С. Оценка эффективности мероприятий по развитию кадрового потенциала региона в рамках ситуационно-поведенческого подхода /

А.Л. Машкова, А.В. Маматов, И.С. Константинов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: экономика. Информатика. – 2019. – №4. – С. 754-763.

2. Развитие цифровых компетенций специалистов агропромышленного комплекса на основе решений ИС / Е. В. Худякова, М. Н. Степанцевич, М. И. Горбачев, Т. Ф. Череватова // Актуальные вопросы социально-экономических, технических и естественных наук: Материалы Национальной (Всероссийской) научной конференции Института агроинженерии, Челябинск, 04–05 марта 2021 года. – Челябинск: Южно-Уральский государственный аграрный университет, 2021. – С. 93-98.

3. Степанцевич, М. Н. Этапы цифровизации системы подготовки аграрных специалистов / М. Н. Степанцевич, М. И. Горбачев, И. А. Кудинов // Аграрная наука - 2022: материалы Всероссийской конференции молодых исследователей, Москва, 22–24 ноября 2022 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. – С. 1750-1752.

4. Трухачев, В.И. Роль аграрных вузов в кадровом обеспечении государственной программы «Комплексное развитие сельских территорий» / В.И. Трухачев // Представительная власть - XXI век: законодательство, комментарии, проблемы. – 2021. – № 1-2 (184-185). – С. 34-39.

5. Худякова, Е.В. Основные направления цифровой трансформации аграрного вуза / Е.В. Худякова, М.Н. Степанцевич // Развитие агропромышленного комплекса в условиях цифровой экономики: Сборник научных трудов IV Национальной научно-практической конференции, Самара, 26 апреля 2022 года. – Кинель: ИБЦ Самарского ГАУ, 2022. – С. 47-51.

Константинов Игорь Сергеевич

Белгородский национальный исследовательский университет, г. Белгород

д.т.н., профессор, заведующий кафедрой математического и программного обеспечения информационных систем

Тел.: +7 (4722) 30-13-22

E-mail: konstantinovi@mail.ru

Степанцевич Марина Николаевна

РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва

к.э.н., доцент кафедры прикладной информатики

Тел.: +7 926 145-03-44

E-mail: stepancevich@rgau-msha.ru

Горбачев Михаил Иванович

АО «ИБС ИТ Услуги», г. Москва

к.э.н., бизнес-аналитик центра внедрения бизнес-систем

Тел.: +7 926 379-49-05

E-mail: mgpochta@gmail.com

УДК 620.9:658.011.56

Ю.А. КОШЛИЧ, П.А. ТРУБАЕВ
Yu.A. KOSHLICH, P.A. TRUBAEV

УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕМ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ОБЩЕСТВЕННЫХ И ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

ENERGY SAVING MANAGEMENT OF DISTRIBUTED ENGINEERING SYSTEMS OF PUBLIC AND RESIDENTIAL BUILDINGS

В данной статье авторы освещают проблему управления энергосбережением общественных и жилых зданий с позиции специфики функционирования организаций, эксплуатирующих здания и синергетического эффекта повышения энергоэффективности в распределенных системах с разнотипными элементами. Результатом представляемой работы является создание методической базы автоматизированной системы мониторинга и анализа крупных разветвленных структур зданий – потребителей энергоресурсов для оценки энергоэффективности и управлением энергосбережением, основанной на системном анализе разветвленных структур, аналитических методах теплотехники и строительной теплофизики, прогнозировании поведения систем на длительный период.

Ключевые слова: энергосбережение, энергетический менеджмент, управление энергосбережением, модель энергопотребления, коммунальные ресурсы, информационно-аналитическая система.

In this article, the authors highlight the problem of energy conservation management of public and residential buildings from the perspective of the specifics of the functioning of organizations operating buildings and the synergetic effect of energy efficiency improvement in distributed systems with different types of elements. The result of the presented work is the creation of a methodological base for an automated system for monitoring and analyzing large branched structures of buildings – consumers of energy resources for energy efficiency assessment and energy conservation management, based on a system analysis of branched structures, analytical methods of heat engineering and construction thermophysics, forecasting the behavior of systems for a long period.

Keywords: energy saving, energy management, energy conservation management, energy consumption model, utility resources, information and analytical system.

В настоящее время вопросы энергоэффективности промышленного производства разработаны достаточно глубоко. Вместе с тем потребление коммунальных ресурсов, занимающих около четверти в общем энергопотреблении страны, рассматривается в основном с точки зрения задач улучшения отопительных и теплоэнергетических характеристик зданий, в недостаточной мере учитывается специфика функционирования организаций, использующих здания, синергетический эффект повышения энергоэффективности в больших системах с разнотипными элементами, недостаточно применяются методы «больших данных» для анализа таких структур.

Общественные здания потребляют большое количество энергии. Например, в Пекине общее потребление энергии в гражданских зданиях составляло 31.14 million tons of Tse in 2014, что равно 45,6% от общего потребления энергии [1]. Из всех зданий в Пекине 39,3% от общей площади составляют общественные [1]. В США здания потребляют 40% всей первичной энергии. Малые и средние коммерческие здания составляют 95% по площади и 47% по энергопотреблению [2]. Доля государственных, образовательных, медицинских учреждений в общем потреблении сектора услуг составляет около 30% в Дании, Норвегии, Швеции и Великобритании, и около 17% в Германии [3]. Много крупных и частных и государственных учреждений включает большое количество зданий, например Техасский университет, который обязан по законодательству штата снижать энергопотребление, включает 266 основных зданий и потребляет электроэнергию и природного газа около 240 млн кВт·ч или 0.3 million tons of Tse в год [4]. Но, как отмечают Cortese [5] в литературе большое внимание уделяется темам эффективности энергетики и возобновляемым источникам энергии, но гораздо меньше внимания уделяется вопросам энергетического планирования. Следует отметить [6], что лишь небольшое количество исследований касаются потребления энергии в общественных зданиях, а также [7], что

государственные инвестиции в энергосбережение часто являются неоптимальными из-за недостаточного количества информации по их эффективности и бюджетных ограничений.

Проблемой управления энергоэффективностью общественных зданий является их территориальное распределение и разнообразие конструктивных исполнений. Большая часть зданий имеет небольшие размеры и следующее из этого небольшое потребление энергоресурсов. Ответственные за эксплуатацию зданий и руководство техническими работниками, как правило, совмещают эту работу у хозяйственным обеспечением деятельности учреждений и не являются специалистами в области энергетики и энергосбережения. Владельцам обычно не хватает опыта для выполнения подробного энергетического аудита и оценки рентабельных энергетических технологий или ресурсов на оплату услуг профессиональных энергоаудиторов [2]. Из-за небольшого штата нанять отдельного специалиста-энергоменеджера не представляется возможным. Таким образом задача управления энергопотреблением и повышения энергоэффективности на уровне зданий силами их персонала эффективно не может быть решена.

Результатом представляемой работы является создание методической и методологической базы автоматизированной системы мониторинга и анализа крупных разветвленных структур зданий – потребителей энергоресурсов для оценки энергоэффективности и управлением энергосбережением, основанной на системном анализе разветвленных структур, аналитических методах теплотехники и строительной теплофизики, прогнозировании поведения систем на длительный период.

Разработанные методы позволяют решать актуальную задачу по управлению энергосбережением на основе совокупности следующих полученных методов:

а) методе идентификации параметров объектов путем определения структуры и удельных показателей энергопотребления на основании статистических и технических данных и мониторинга потребления коммунальных ресурсов;

б) модели оценке степени энергоэффективности потребителей энергоресурсов с учетом их технического состояния и специфики работы и определения теоретического потенциала энергосбережения;

в) модели прогнозирования энергопотребления и управления энергосбережением с целью максимальной реализации установленного потенциала энергосбережения.

Основной результат заключается в разработке методов оценки энергоэффективности непромышленных организаций, не требующих детального энергетического обследования и основанных на типовом описании объектов (на основе данных статистики, технической и строительной документации) и данных динамического мониторинга потребления коммунальных услуг. На основе данной оценки созданы методы управления энергосбережением в территориально рассредоточенных непромышленных организациях, в бюджетных учреждениях на муниципальном и региональном уровне, которые реализованы в разработанной информационно-аналитической системе управления энергосбережением (ИАС).

ИАС (Рисунок 1) автоматизирует следующую деятельность:

– сбор информации, включая технико-экономические показатели потребителей топливно-энергетических ресурсов в бюджетной и жилищной сфере;

– согласование и интеграция собранной информации в едином хранилище данных;

– предоставление доступа к хранилищу данных с рабочих мест пользователей с возможностью поиска и обработки накопленной информации в целях получения информационно-аналитических данных для пользователей системы – потребителей ТЭР, и представителей государственной и муниципальной власти региона;

– подготовка аналитических отчетов по эффективности потребления энергетических ресурсов, инвестициям в энергосбережение.

Задачами ИАС, ориентированными на организацию информационно-аналитического сопровождения управления энергосбережением в Белгородской области, а также поддержки принятия решений по развитию энергетической инфраструктуры и, как следствие, обеспечения инвестиционной привлекательности, являются:

– хранение и анализ данных о потреблении объектов;

– отслеживание изменений потребления объектов, прогнозирование возможных аварийных ситуаций.

– контроль, планирование и прогноз потребления объектов;

– мониторинг и установление целевых показателей расхода и экономии ресурсов по каждому зданию.

– анализ энергоэффективности потребления, определение потенциала энергосбережения государственных учреждений.

Описание функций информационно-аналитической системы представлено в табл. 1–4. Особенностью системы является анализ потребления по каждому ресурсу и каждому объекту. Для объекта устанавливаются две базовые линии потребления:

– фактическая, определенная по данным приборов учета энергетических ресурсов с приведением для отопления к сопоставимым погодным условиям, для остальных энергоресурсов и воды – к сопоставимым условиям эксплуатации объекта, связанным с изменением численности людей, времени работы;

– оптимальная, которая для отопления определяется по расчету потерь теплоты в здании с использованием их технических данных, для остальных энергоресурсов и воды она определяется на основании регрессионной модели потребления в кластере.



Рисунок 1 – Функциональная структура ИАС

Мероприятия по энергосбережению делятся на два вида.

1. Организационные, связанные с неэффективной эксплуатацией объекта. Потенциал энергосбережения определяется по разности фактического и оптимального потребления. По аналогии с системой квот Китая [1] для объектов, потребление энергоресурсов на которых повышено, финансирование ограничивается. Но, в отличие от системы квот, оптимальный уровень потребления учитывает конструктивные и режимные особенности объектов. Например, оптимальные затраты на отопление определяются не по нормам энергоэффективности, а по конструкции здания. Поэтому для зданий неэнергоэффективных конструкций затраты на отопление могут являться оптимальными, если они соответствуют расчетным затратам для этого здания. И наоборот, если энергоэффективное здание потребляет больше расчетного значения, значит его потребление оптимальным не является, хотя по удельной величине оно будет намного меньше, чем для здания неэнергоэффективной конструкции.

2. Технические или инвестиционные, связанные с энергетической модернизацией здания или его инженерных систем. Потенциал энергосбережения определяется тепловым расчетом здания до или после реконструкции, или по эффекту мероприятий на аналогичных объектах.

Инвестиционные программы формируются согласно иерархии финансирования государственных учреждений, особенностью которой является формирование доходов на двух уровнях (регион и муниципальное образования) и трехуровневое распределение финансовых средств: регион → муниципальные образования (городские округа и районы) → департаменты по виду деятельности. Таким образом исходя из выделенной суммы определяется наиболее эффективное распределение инвестиций на технические мероприятия среди объектов.

Таблица 1 – Функции блока формирования базы данных

Источник (программный модуль)	Поставщики энергоресурсов	Automatic system for accounting of power consumption (ASAPC)	Пользователи системы (подведомственные учреждения, инженерные службы зданий)	
Состав данных	Объём потребления энергоресурсов для зданий и энергетических ресурсов без ASAPC: – тепловая энергия; – электроэнергия; – горячая вода; – холодная вода; – природный газ.	Объём потребления энергоресурсов для зданий с ASAPC: – тепловая энергия; – электроэнергия; – горячая вода; – холодная вода; – природный газ.	Технические данные зданий: – площадь и объём, этажность, высота; – год постройки; – материалы и площади ограждающих конструкций и окон; – материалы и тип крыши и подвала; – вид отопления, используемые энергоресурсы.	Планируемые и фактически выполненные энергосберегающие мероприятия: – наименование мероприятия; – величина затрат; – срок внедрения; – вид энергоресурса; – плановая величина экономии.
Периодичность	Выгрузка данных раз в месяц	Выгрузка данных раз в сутки	Раз в год (первоначально ввод, затем актуализация)	Раз в три месяца
Метод взаимодействия	Протокол обмена данными	Протокол обмена данными	Диалоговые формы в Web-интерфейсе рабочих кабинетов	

Таблица 2 – Функции блока формирования целевых показателей (базовой линии)

Программный модуль	Расчет индивидуальных базовых линий энергопотребления	Оценка потенциала энергосбережения на основе организационных мероприятиями	Оценка потенциала энергосбережения со стандартными инвестиционными мероприятиями	Выбор мероприятий и формирование инвестиционной программы (программы энергосбережения) муниципальных образований и региона	Прогнозирование энергопотребления на длительный период
Результат	Фактический R_{act} и оптимальный R_{opt} расход энергоресурсов по каждому объекту (с приведением к сопоставимым погодным условиям и условиям эксплуатации).	Потенциал энергосбережения ΔE_{org} , не связанный с реконструкцией объекта и инженерных систем.	Технико-экономические показатели стандартных энергосберегающих мероприятий с расчетом: а) потенциала энергосбережения $\Delta E_{inv i}$; б) стоимости сэкономленных ресурсов $C_{inv i}$; б) стоимости мероприятия Inv_i .	Перечень объектов и инвестиционных мероприятий.	Прогноз энергопотребления по каждому объекту и каждому энергетическому ресурсу (производится ежегодно) объектов.

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6
Метод расчета	<p>Определение оптимального уровня потребления P_{opt}: – для затрат энергоресурсов на отопление: расчетно-аналитический метод (на основании физических законов и теплового расчета здания); – для потребления электроэнергии, воды, природного газа не на цели отопления: статистический метод по накопленным данным (регрессионная модель по кластеру аналогичных объектов).</p>	<p>Если $P_{act} > P_{opt}$, то $\Delta E_{org} = k_1(P_{act} - P_{opt})$ иначе $\Delta E_{org} = 0$. Если $\Delta E_{org}/P_{act} > k_2$ то $\Delta E_{org} = k_2 P_{act}$.</p> <p>$k_1$ – коэффициент масштабирования, $0 \dots 1$, в систем принят $0,3$; k_2 –предел экономии, >0, в систем принят $0.05 \dots 0.15$.</p>	<p>В зависимости от вида мероприятия: а) расчетно-аналитический метод по характеристикам объекта до и после реконструкции; б) метод аналогий.</p>	<p>Оптимизационный расчет на заданной выборке объектов для поиска набора инвестиционных мероприятий согласно условиям: – сумма затрат равна заданной $\Sigma Inv_i = Inv$; – максимальная экономия $\Sigma C_{invi} \rightarrow \max$</p>	<p>$P = P_{act} - \Delta E_{org} - \Delta E_{inv}$, расчет проводится с учетом графика инвестиций</p>

Таблица 3 – Функции блока контроля показателей энергопотребления

Программный модуль	Расчет фактических показателей энергопотребления	Контроль показателей			Формирование рейтинга энергоэффективности
		Контроль соответствия потребления прогнозу	Контроль показателей энергосберегающих мероприятий	Оценка эффективности уровня потребления	
Содержание	Для объектов, оснащенных ASAPC проводится ежедневно. Для остальных – раз в месяц.	Сравнение плановых и фактических (приведенных к сопоставимым условиям) показателей потребления энергоресурсов	Сравнение плановых и фактических (приведенных к сопоставимым условиям) показателей экономии энергоресурсов	Вводится четыре уровня состояния энергопотребления по каждому энергоресурсу, которое определяет необходимость реагирования (см. рис. 2)	Уровни рейтинга (выборки): а) организации одного вида деятельности муниципального образования; б) все организации муниципального образования; в) суммарное потребление организации одного вида деятельности региона; г) все организации региона; д) муниципальные образования.

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6
Метод расчета	Выборка по базе данных за заданный период.	$\Delta_p = (P_{act\ i} / (kP_{opt\ i}) - 1) \cdot 100\%$, где k – коэффициент пересчета на сопоставимые условия	$\Delta_{инв} = (1 - \Delta E_{act\ i} / (kP_{opt\ i}) \cdot 100\%$, $\Delta E_{act\ i} = P_{act\ i} - kP_{act\ 0}$, где $P_{act\ 0}$ – фактическое потребление до мероприятия; k – коэффициент пересчета на сопоставимые условия	Отклонение оценивается по значениям Δ_p и $\Delta_{инв}$ по каждому энергоресурсу.	По соотношению фактического и оптимального потребления с учетом доли затрат на энергоресурс: <ul style="list-style-type: none"> – для отдельного здания/организации $R = \sum d_i \cdot P_{act\ i} / P_{opt\ i}$, где d_i – доля затрат на энергоресурс i в общих затратах здания/организации на энергоресурсы (0...1); – для муниципального образования $R = \sum R_j d_j$, где R_j – рейтинговая оценка организации/здания; d_j – доля затрат на энергоресурсы для организации/здания в общих затратах всех оцениваемых зданий (0...1).

Таблица 4 – Функции блока формирования расчетной и отчетной документации

Программный модуль	Плановые показатели, отчеты по энергопотреблению и соблюдению плановых показателей	Создание программ энергосбережения и контроль их выполнения	Формирование бизнес-плана для инвестиций и энергосервисных контрактов
Содержание	1. План потребления энергоресурсов на следующий год для формирования бюджета. 2. Отчеты по потреблению энергоресурсов, включающие сравнение с плановыми показателями. 3. План и бюджет инвестиционных мероприятий.	1. Разработка программы энергосбережения для организаций на основании потребления энергоресурсов, оценки потенциала энергосбережения, инвестиционного плана. 2. Контроль выполнения программ энергосбережения организаций/зданий по выполнению мероприятий и достижения запланированного снижения потребления.	1. Документ, содержащий предлагаемые мероприятия с финансовым профилем проекта (в разработке)

Система в настоящее время содержит расчет следующих стандартных мероприятий по энергетической модернизации здания и инженерных систем:

- утепление стен;
- утепление чердачного перекрытия;
- одновременное утепление стен и чердачного перекрытия;

- замена окон;
- установка системы регулирования отопления в зависимости от температуры наружного воздуха и возможности снижения температуры в нерабочее время;
- замена осветительных приборов и ламп;
- установка теплонасосной установки для отопления и приготовления горячей воды;
- установка солнечных панелей для частичного замещения сетевой электроэнергии;
- установка теплоотражающих экранов за отопительными радиаторами.

Для каждого здания возможна оценка всех мероприятий с расчетом затрат (по усредненной стоимости работ и оборудования), величины энергосбережения и простого срока окупаемости.

Математическое и программное обеспечения Системы состоит из эксклюзивных алгоритмов и методов, включающих методы верификации входных данных, унифицированные методы тепловых расчетов для оценки разнообразных объектов, методы расчета эффекта от энергосберегающих мероприятий, алгоритмы оценки инвестиционных программ энергосбережения и потенциала энергосбережения от организационных мероприятий. Для разработки прогнозных сценариев проектов модернизации используется метод долгосрочного прогнозирования затрат в ценах отчетного периода [8].

В настоящее время ИАС внедрена и функционирует в Белгородской области, Республике Саха и Приморском крае. Использование системы оператором ОГБУ «Центр энергосбережения Белгородской области» за период 2019-2022 гг. позволило сократить затраты Белгородской области на оплату коммунальных ресурсов более чем на 700 млн руб. (нарастающим итогом) в сопоставимых условиях к базовому 2019 году.

В период 2022-2023 гг. реализованы ряд пилотных проектов в регионах РФ по опытной эксплуатации системы на 10-15 учреждениях бюджетной сферы в каждом субъекте. Пилотирование в других регионах также оказало высокую эффективность разработанной системы (Таблица 5).

Таблица 5 – Результаты пилотных проектов по опытной эксплуатации ИАС

Регион	Кол-во учреждений (зданий)	Затраты на энергоресурсы, млн руб. в год	Потенциал экономии, млн руб. в год	Потенциал экономии, %
Республика Саха (Якутия)	15 (219)	462,9	9,0	1,9
Кемеровская область	10 (11)	11,3	1,2	10,6
Волгоградская область	16 (56)	32,6	2,1	6,4
Республика Коми	11 (41)	67,3	3,5	5,2
Кировская область	11 (41)	88,0	20,6	23,4
Владимирская область	27 (24)	54,0	8,2	15,2

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wei Z, Xu W, Wang D, Li L, Niu L, Wang W et al. A study of city-level building energy efficiency benchmarking system for China. *Energy and Buildings* 2018; 179 (15): 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.08.038>.
2. Lee SH, Hong T, Piette MA, Sawaya G, Chen Y, Taylor-Lange SC. Accelerating the energy retrofit of commercial buildings using a database of energy efficiency performance. *Energy* 2015; 90(1): 738-47. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.07.107>.
3. Gynther L. Energy Efficiency and the Public Sector. November 2016. <https://www.odysseum.eu/publications/policy-brief/public-sector-building-energy-efficiency.pdf>

4. Mohammadalizadehkorde M., Weaver R. Quantifying potential savings from sustainable energy projects at a large public university: An energy efficiency assessment for texas state university. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 2020; 37: 100570. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100570>.
5. Cortese TTP, de Almeida JFS, Batista GQ, Storopoli JE, Liu A, Yigitcanlar T. Understanding Sustainable Energy in the Context of Smart Cities: A PRISMA Review. *Energies* 2022; 15: 2382. <https://doi.org/10.3390/en15072382>.
6. Abdelaziz A, Santos V, Dias MS. Machine learning techniques in the energy consumption of buildings: A systematic literature review using text mining and bibliometric analysis. *Energies* 2021; 14: 7810. <https://doi.org/10.3390/en14227810>.
7. Barbetta GP, Canino P, Cima S. The impact of energy audits on energy efficiency investment of public owners. Evidence from Italy. *Energy* 2015; 93: 1199-209. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.09.117>.
8. Trubaev PA, Tarasyuk P.N. Evaluation of energy-saving projects for generation of heat and heat supply by prime cost forecasting method. *International Journal of Energy Economics and Policy* 2017; 7(5): 201-208. <https://econjournals.com/index.php/ijeep/article/view/5619>.

Кошлич Юрий Алексеевич

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород
к.т.н., доцент каф. Электроэнергетики и автоматики
тел. +7(909)200-44-58
E-mail: koshlich@yandex.ru

Трубаев Павел Алексеевич

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород
д.т.н., профессор кафедры Энергетики теплотехнологии
тел.: +7(4722)309-965
E-mail: koshlich@yandex.ru

УДК 004.422.8

В.И. ХАЛИМОН, О.В. ПРОСТИТЕНКО
V.I. KHALIMON, O.V. PROSTITENKO

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПЕРАЦИЙ НА ГРАФАХ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СТРУКТУР СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

USING OPERATIONS ON GRAPHS TO STUDY INFORMATION STRUCTURES OF TECHNOLOGICAL PROCESS CONTROL SYSTEMS

В публикации рассмотрена возможность использования операций на графах для построения и исследования информационного поля и информационной среды систем управления технологическими процессами с точки зрения анализа информационных связей между отдельными функциональными задачами управления.

Ключевые слова: функциональный оператор; информационное поле; функциональные задачи; информационные связи; граф-схема; графовые структуры.

The publication considers the possibility of using operations on graphs to build and study the information field and the information environment of process control systems from the point of view of analyzing information links between individual functional control tasks.

Keywords: functional operator; information field; functional tasks; information links; graph diagram; graph structures.

Сложные системы, в нашем случае автоматизированные системы управления технологическими процессами, в которых функции управления распределяются между человеком и техническими средствами, характеризуются определенной целостностью. Это значит, что хотя сложная система может состоять из множества подсистем, однако функционирование всех их вместе подчинено единой цели, и любую из них необходимо рассматривать только во взаимосвязи с другими подсистемами.

Алгоритм управления представляет собой совокупность функциональных операторов, определяющих процесс управления и связывающих его параметры с параметрами состояния производственной системы, где под функциональным оператором q системы управления понимается некоторая совокупность алгоритмов, осуществление которых приводит к одному (группе) обобщающему или новому показателю состояния производства. Именно правильное формирование функциональных операторов позволяет осуществлять адекватное управление технологическим процессом [1].

В данной статье рассматривается способ описания системы управления с помощью упорядоченной таблицы координат функциональных операторов, геометрическим образом которой является блок-схема взаимосвязи отдельных функциональных задач. Вершины блок-схемы соответствуют отдельным задачам (или группам задач), а дуги характеризуют информационные связи между ними.

Задачи, последовательное решение которых приводит к осуществлению функционального оператора, называются координатами функционального оператора. Каждая задача, решаемая в системе управления, может быть координатой нескольких различных функциональных операторов, которые характеризуются не отдельными задачами, а их совокупностью, т.е. информационными потоками, которые определяются связью задач между собой. В связи с этим при разработке или анализе системы управления технологическим процессом целесообразно использовать такое понятие, как информационное поле. Поле векторов преобразования информации (векторное поле функциональных операторов), неизменное во времени, называется информационным полем системы.

Информационное поле задает информационные связи между данными, которые могут быть впоследствии описаны различными функциональными связями. Это означает, что для описания

объектов можно применять информационное моделирование и информационные модели. Информационное поле служит основой организации данных. Один из важных принципов организации данных – организация связей между данными. Еще один из принципов организации данных заключается в создании топологических пространственных связей или топологии. Отражением отношений между объектами являются информационные отношения. Выявление и использование информационных отношений и связей дает возможность воздействия на реальные объекты и управления этими объектами [2].

В связи с широким распространением информационных систем появляются различные вариации с термином «информационное поле» не только как среды, а и как некой инфраструктуры [3].

Для реализации алгоритма построения информационного поля в качестве исходных объектов для формирования функциональных операторов предложен довольно полный перечень функциональных задач управления технологическими процессами:

- | | |
|---|---|
| 1 - прямое измерение | 13 - моделирование |
| 2 - косвенное измерение | 14 - оптимальное управление в установившемся режиме |
| 3 - лабораторный анализ | 15 - оптимальное управление в переходном режиме |
| 4 - подготовка данных | 16 - адаптация |
| 5 - хранение данных | 17 - регулирование отдельных параметров |
| 6 - расчет технико-экономических параметров | 18 - многосвязное регулирование |
| 7 - отображение и регистрация информации | 19 - одноконтурное логическое управление |
| 8 - контроль отклонений | 20 - программное и многоконтурное логическое управление |
| 9 - прогнозирование хода ТП | 21 - контроль исполнения управляющих воздействий |
| 10 - анализ срабатывания блокировок и защит | |
| 11 - сигнализация | |
| 12 - диагностика состояния оборудования | |

Составление полного перечня функциональных задач с указанием информационных связей между ними, т.е. построение дерева функций - неременный этап работ, связанных с автоматизацией исследования как отдельных функциональных операторов, так и их совокупности при разработке структуры системы управления технологическим объектом.

Для реализации алгоритма построения информационного поля в качестве исходных данных берется предложенный набор функциональных задач, обозначаемых a_j . Задача a_1 называется существенной для задачи a_2 , если результаты решения a_1 служат исходными данными для решения a_2 . Одновременно говорят, что задача a_2 зависит от a_1 . Задачи a_1 и a_2 называют также функционально смежными.

Задача a_0 – первичная (входная) информация для последующих задач. Под первичной информацией будем подразумевать данные, поступающие от датчиков системы сбора информации, от оператора и из разных документов и т.д.

Алгоритм построения информационного поля состоит из двух частей:

- в первой части алгоритма выделяются классы задач для упорядочивания множества задач по уровням, т.е. в каждом классе или уровне задачи информационно не связаны;
- во второй части строится упорядоченная таблица координат функциональных операторов. Она является также таблицей задач, распределенных по классам.

На этапе алгоритмизации было выяснено, что взаимосвязи функциональных задач не удовлетворяют требованиям, предъявляемым в процессе машинной реализации алгоритма построения информационного поля, поскольку существует циклическая взаимосвязь между некоторыми смежными задачами, что затрудняет анализ определенных функциональных операторов и не позволяет представить информационное поле в виде древовидной структуры, что является необходимым при

технической реализации. В системах управления технологическими процессами в цикле довольно часто работают следующие цепочки задач:

- 5 - хранение данных, → 8 - контроль отклонений, → 9 - прогнозирование хода ТП;
- 10 - анализ срабатывания блокировок и защит → 12 - диагностика состояния оборудования → 11 - сигнализация.

Для получения древовидной структуры дополнительно введены: задача 22 - хранение данных, задача 24 - контроль отклонений, 23 - диагностика состояния оборудования.

Преобразованная блок-схема взаимосвязи функциональных задач, являющаяся основой для построения информационного поля системы, включает дублирующие вершины:

- № 5 (для нее введена дополнительная - № 22);
- № 8 (для нее введена дополнительная - № 24);
- № 12 (для нее введена дополнительная - № 23).

Разбиение задач на классы показано в таблице 1.

Таблица 1 – Выделенные классы задач

Номер класса	Номер задачи, входящий в данный класс	Номер класса	Номер задачи, входящий в данный класс
К0	0	К7	24
К1	1 3 16 21	К8	12 14 15 19
К2	2 13	К9	10 17 18 20
К3	4	К10	23
К4	5	К11	11
К5	8	К12	6 7
К6	9 22		

Используя методику построения сетевых графиков (диаграмма Ганта) и выделенные классы задач, можно построить универсальное информационное поле в виде граф-схемы для всех возможных функциональных операторов на предложенном наборе функциональных задач (рисунок 1).

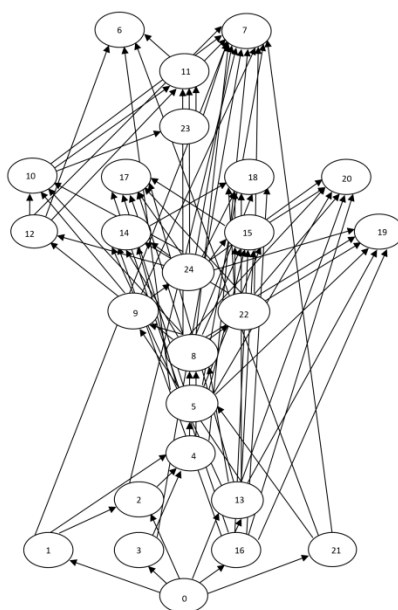


Рисунок 1 – Граф-схема взаимосвязи функциональных задач

Граф-схему взаимосвязи задач удобно использовать для изучения функциональной и информационной структур СУ и повышения ее эффективности на основе применения теории графов и потоков в сетях [4]. Представленная выше информационная модель функциональной структуры АСУТП является обобщенной схемой для большинства видов технологических процессов. В ней рассматривается полный набор функциональных задач, которые на практике не всегда реализуются полностью, а в управлении участвуют лишь некоторые задачи из этого перечня. Анализ функциональных операторов, осуществляющих различные алгоритмы управления технологическими процессами, реализуются с использованием программного комплекса «GRAF TOOLBOX» [5]. На рисунке 2 представлено главное окно этого комплекса.

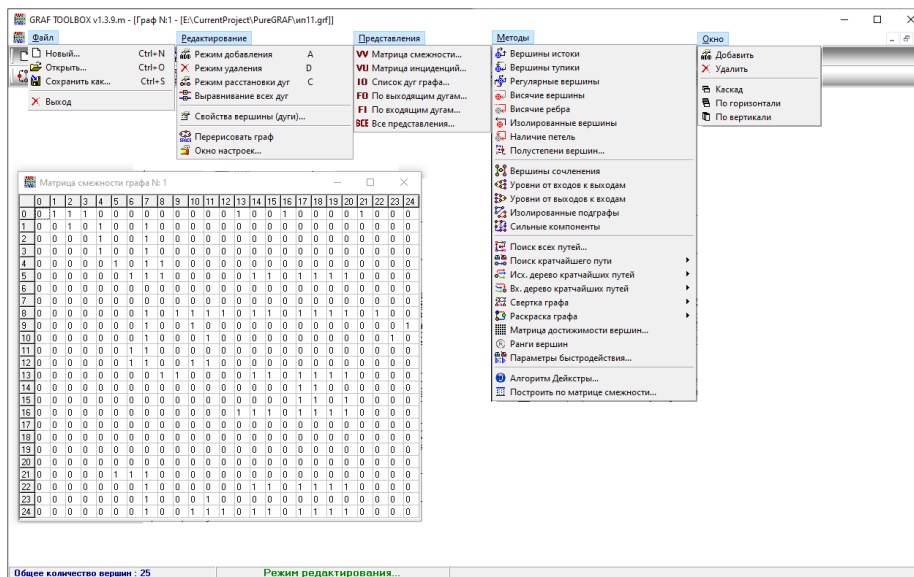


Рисунок 2 – Главное окно программы «GRAF TOOLBOX»

Инструменты разработанного комплекса позволяют строить графовые структуры большой сложности и проводить всесторонний анализ этих структур. Весь анализ осуществляется на матричных и списковых представлениях графов и вводить можно матрицу, графическое представление на экране будет получено автоматически. Комплекс позволяет обрабатывать данные по 256 вершинам – все зависит от мощности вычислительных средств [6]. В данном случае было построено 13-уровневое информационное поле взаимосвязи всех функциональных задач управления технологическими процессами, которые были перечислены ранее. В представленном графе номера вершин – это номера задач из представленного перечня, а дуги – это информационные связи между задачами. Выделив в этом информационном поле только те функциональные операторы, которые необходимы для управления конкретным технологическим процессом, т.е. получив граф информационной среды именно данного процесса, можно определить ключевые задачи (вершины) разрабатываемой или корректируемой системы управления. Характеристиками для анализа информационной среды системы управления технологическим процессом исходя из терминов операций на графах могут быть полустепени вершин графа, что указывает с каким количеством задач обменивается данными каждая задача в предложенной структуре управления. Можно автоматически анализировать информационные связи системы управления на наличие структурных ошибок (наличие циклов и отсутствие связей между входом и выходом системы). Если в качестве весов вершинам (задачам) и дугам (информационным связям) задать определенные значения, то можно рассчитать нагрузку на средства вычислительной техники, на которых реализуется система управления процессом. Необходимо отметить, что по предложенной методике можно модифицировать предложенный перечень задач, если известны информационные связи между рассматриваемыми задачами. Далее на рисунке 3 представлен пример информационного поля для анализа и исследования системы управления по трем функциональным операторам:

1. Объект → прямое измерение → подготовка данных → контроль отклонений → прогнозирование хода ТП → отображение и регистрация информации (0 – 1 – 4 – 8 – 9 – 7).

2. Объект → прямое измерение → подготовка данных → контроль отклонений → прогнозирование хода ТП → анализ срабатывания блокировок и защит → сигнализация → отображение и регистрация информации (0 – 1 – 4 – 8 – 9 – 10 – 11 – 7).

3. Объект → моделирование → контроль отклонений → регулирование отдельных параметров (0 – 13 – 8 – 17).

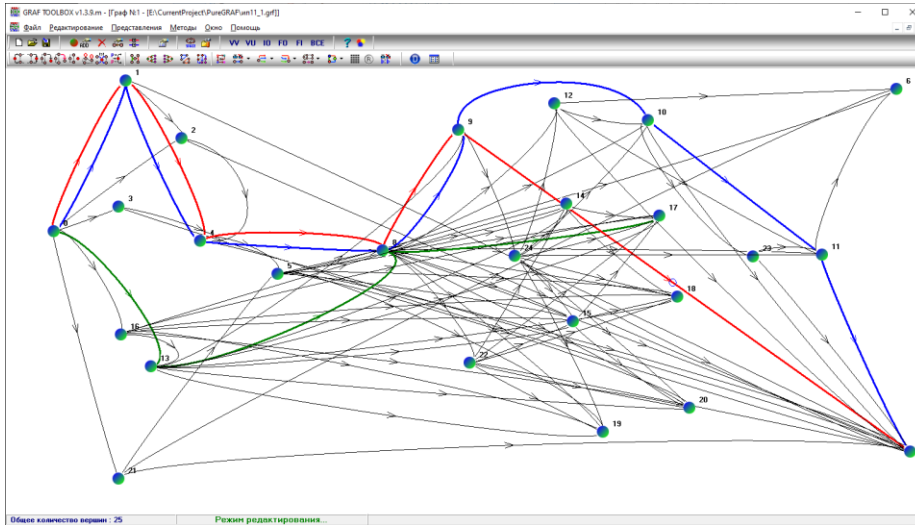


Рисунок 3 – Пример информационного поля с выделенной информационной средой по трем функциональным операторам

Исследуя примерную систему из ранее представленных трех функциональных операторов (рисунок 4) можно, в частности, оценить ранги вершин (значимость задач) и полустепени вершин, то есть информационные взаимосвязи задач. В данном случае самый высокий ранг за исключением входной вершины (процесса) обладают задачи 1 (прямое измерение) и 4 (подготовка данных). А наибольшим количеством информационных связей характеризуется задача 8 (контроль отклонений).

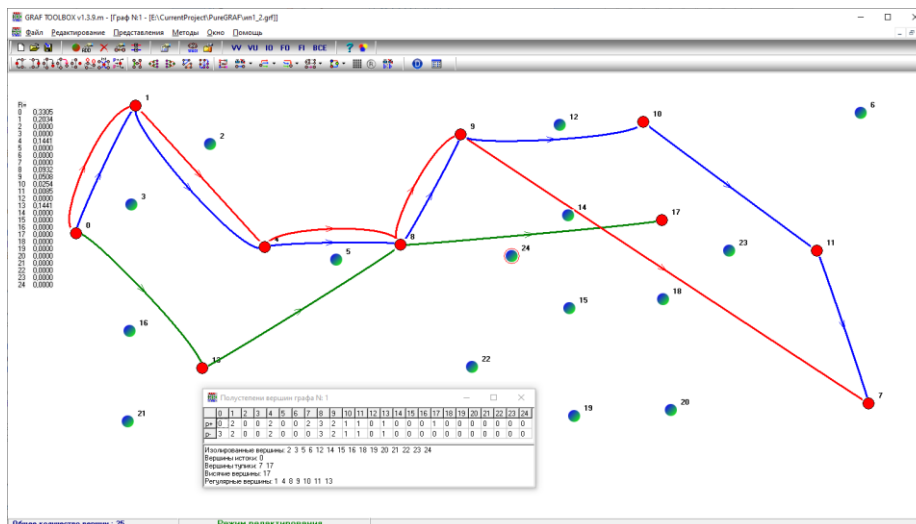


Рисунок 4 – Пример информационной среды операторов 1, 2 и 3

Таким образом, в данной статье рассмотрена возможность использования операций на графах для исследования информационного поля, в частности, информационной среды для исследования структур управления технологическими процессами с точки зрения анализа информационных связей и соответственно нагрузок на вычислительные средства при реализации той или иной структуры системы управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Халимон В.И. Формализованные методы построения систем управления химико-технологическими процессами в условиях неполной информации. – СПб: ХИМИЗДАТ, 2004. – 352 с.
2. Ожерельева Т.А. Об отношении понятий информационное пространство, информационное поле, информационная среда и семантическое окружение // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 10-2. – С. 21-24.
3. Bacon C.J., Fitzgerald B. A systemic framework for the field of information systems // ACM Sigmis Database. – 2001. – Т. 32. – №. 2. – С. 46-67
4. Халимон В.И., Рогов А.Ю., Проститенко О.В. Программный комплекс по изучению теории графов, сетей Петри, СМО и применению их в различных предметных областях. / Сб. трудов III Международной научной конференции. Информационные технологии в науке, образовании и производстве. - Т1. - ОрелГТУ, Орел, 2008. – С. 238-243.
5. Халимон В.И., Рогов А.Ю., Проститенко О.В. Программный комплекс «GRAF TOOLBOX» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ) / Рос. агентство по патентам и товарным знакам «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем». Рег. №2002611910. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 12 ноября 2002 г.
6. Халимон В.И., Рогов А.Ю., Проститенко О.В. Графовые методы анализа в дискретной математике (Учебное пособие) / СПбГТИ (ТУ). - СПб., 2012. – 88 с.

Халимон Виктория Ивановна

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),
г. Санкт-Петербург
Д.т.н., профессор, профессор кафедры системного анализа и информационных технологий
Тел.: +7(911) 828-47-23
E-mail: vihalimon@gmail.com

Проститенко Олег Владимирович

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),
г. Санкт-Петербург
К.т.н., доцент, доцент кафедры системного анализа и информационных технологий
Тел.: +7(911) 221-71-73
E-mail: prostitenko@gmail.com

УДК 378.046:004:63

А.В. МАМАТОВ, А.В. ГАЛЬЦЕВ
A.V. MAMATOV, A.V. GALTCEV**ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАБОРОМ
АБИТУРИЕНТОВ В ВУЗЫ НА ОСНОВЕ СИТУАЦИОННО-
ПОВЕДЕНЧЕСКОГО ПОДХОДА****BUILDING A MANAGEMENT SYSTEM FOR THE RECRUITMENT
OF APPLICANTS TO UNIVERSITIES BASED ON A SITUATIONAL-
BEHAVIORAL APPROACH**

В статье описывается агент-ориентированная модель управления поведением абитуриента на основе ситуационно-поведенческого подхода. Модель позволяет определить основные факторы влияния на выбор специальности абитуриентом, получить предиктивную оценку эффективности мер государственного регулирования рынков образовательных услуг и труда региона.

Ключевые слова: рынок труда, образовательная система агент-ориентированное моделирование, государственные меры регулирования, управление поведением абитуриентов.

The article describes an agent-oriented model of managing the behavior of an applicant based on a situational-behavioral approach. The model allows to determine the main factors influencing the choice of a specialty by an applicant, to obtain a predictive assessment of the effectiveness of measures of state regulation of educational services and labor markets in the region.

Keywords: labor market, educational system agent-oriented modeling, state regulatory measures, management of applicants' behavior.

Введение

Конъюнктура российского и региональных рынков труда характеризуется наличием перманентных профессиональных диспропорций спроса и предложения. К тому же это происходит в условиях постоянного изменения социально-экономических условий: потребностей отраслей экономики, конкурентоспособности ряда профессий в новых условиях, демографического спада населения, старения кадров и т.д. В этой связи особо актуальной становится задача разработки научно обоснованной системы мониторинга потребностей профессиональных компетенций и планирования системы профессионального образования, который бы адаптировался под постоянно изменяющиеся потребности региональной экономики, а также механизма регулирования и снижения диспропорций рынка труда и образовательных услуг.

Исследования в данном направлении дают возможность получить ответ о результатах маркетинговых мероприятий вуза, о его статусе в глазах потенциального потребителя. Помимо данных результатов, становится возможным определить социальный портрет будущего студента, скорректировать технологии привлечения абитуриентов.

Анализ работ в области теории и практики управления развитием рынков образовательных услуг и труда показал, что в работах данного направления мало уделено внимания как поведенческим характеристикам экономических агентов данных рынков, так и управляющим мерам государственного воздействия на них в изменяющихся условиях социальной среды и цифровой трансформации экономики.

Предлагаемая авторами агент-ориентированная модель управления поведением абитуриента основана на ситуационно-поведенческом подходе в зависимости от индивидуальных характеристик и сценарных вариантов изменения возможных условий выбора направлений подготовки в образовательной системе.

Агент-ориентированная модель управления поведением абитуриента на основе ситуационно-поведенческого подхода

Модель управления поведением абитуриента, состоит из активных агентов «Абитуриент» и пассивных агентов «Специальность».

Агент «Абитуриент» – выпускник 11 класса, описанный характеристиками: 1) Пол (гендерная принадлежность агента); 2) Возраст; 3) уровень доходов семьи; 4) балл ЕГЭ по выбранным предметам; 5) список специальностей; 6) выбранная специальность.

1. Пол (гендерная принадлежность агента) – гендерная принадлежность агента, определяющаяся на основе генерации случайных чисел от 0 до 1. При генерации случайных чисел используется вероятностный подход, основанный на официальной статистике рождаемости.

2. Возраст – переменная, принимающая целочисленное значение.

3. Уровень доходов семьи – рассчитывается как сумма доходов родителей, на основе распределения каждому агенту присваивается определенный вид экономической деятельности, где он работает, и начисляется заработная плата согласно средней заработной плате по виду экономической деятельности.

4. Балл ЕГЭ по выбранным предметам – предметы ЕГЭ, сданные абитуриентом, и полученные баллы по ним. Принимают целочисленные значения от 0 до 100. Среднее значение баллов по предметам определялось исходя из статистики сдачи ЕГЭ.

5. Список специальностей – список специальностей, куда может поступить абитуриент. Формируется на основе сданных предметов ЕГЭ и ранжируется в соответствии с престижностью специальностей.

6. Выбранная специальность – специальность, по которой абитуриент будет подавать документы для поступления. Определяется путем случайного выбора из элементов массива «Список специальностей».

Агент «Специальность» - специальность, представленная в вузах, описан характеристиками: 1) название специальности; 2) стоимость обучения; 3) количество бюджетных мест; 4) предмет ЕГЭ; 5) уровень престижа.

1. Название специальности – формируется список специальностей, по которым осуществляется обучение в вузах.

2. Стоимость обучения – стоимость обучения в рамках договорных отношений по данной специальности. Рассчитывается как среднее значение стоимости обучения по направлению подготовки в образовательных организациях высшего образования и филиалах.

3. Количество бюджетных мест – количество бюджетных мест по данной специальности. Определяется согласно официальной статистике.

4. Предмет ЕГЭ – предмет на выбор, необходимый для поступления на данную специальность. Данные с официальных сайтов образовательных организаций высшего образования.

5. Уровень престижа – популярность направления подготовки. Вычисляется на основе количества запросов в поисковых сервисах в интернете, составляется рейтинг престижности специальности.

Ситуационно-поведенческий подход в данном случае позволяет путем выявления типовых схем поведения абитуриента определить их последствия с точки зрения баланса спроса и предложения на рынке труда, а также обосновать и выработать механизмы влияния на иррациональное поведение абитуриентов как неких экономических агентов.

Структура нейронной сети, реализующей поведенческую функцию g базисной результирующей функции (1) представлена на рисунке 1.

$$I = \sum \left(\left(K_i \frac{\sum(D_i)}{S} - C_i \right) * g(K_i, M_i) \right), I \rightarrow \infty \quad (1)$$

Модель затрат на обучение позволяет более системно осуществлять планирование расходов и правильно и эффективно учитывать затраты вуза, с учетом имеющихся методических рекомендаций по планированию учета и калькулированию себестоимости образовательных услуг для всех образовательных учреждений

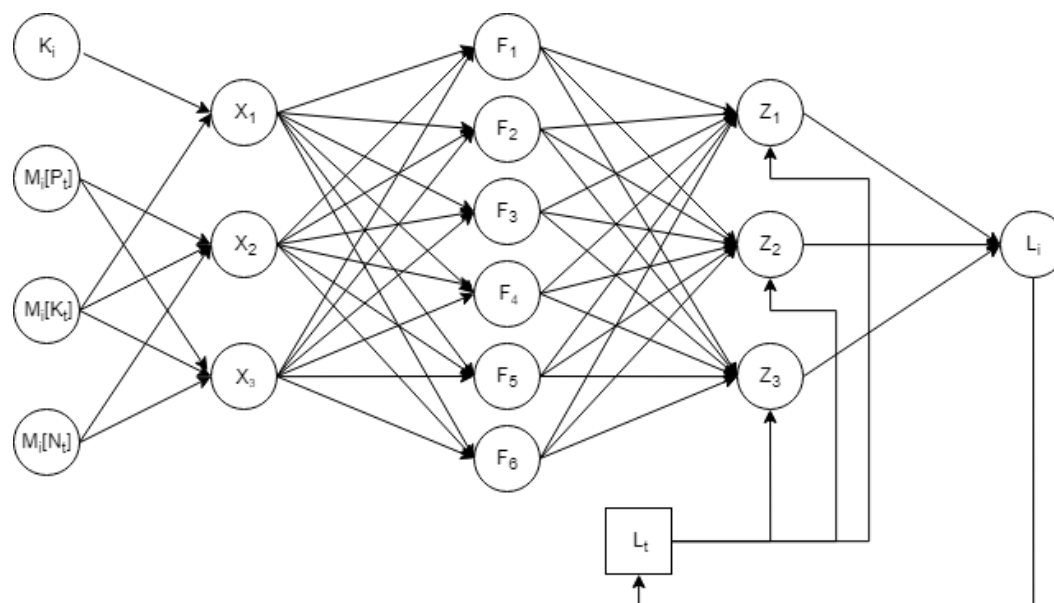


Рисунок 1 – Где K_i – корректирующий коэффициент цены специальности i , M_i – вектор динамики процесса поступления студентов на специальность i по контрактной форме оплаты, $M_i[P_t]$ – базовая цена контракта в году t , $M_i[K_t]$ – корректирующий коэффициент цены специальности i в году t , $M_i[N_t]$ – количество студентов, поступивших на специальность i в году t , L_t – кумулятивное значение результирующего коэффициента для итераций $0-t$, L_t – значение результирующего коэффициента для итерации t

Заключение

Разработанная агент-ориентированная модель управления поведением абитуриента в образовательной системе целесообразно реагирует на прописанные сценарии управления поведением абитуриентов в зависимости от изменения их индивидуальных характеристик (предпочтений, возможностей и других показателей) как ответ на изменение регулируемых параметров модели, что дает возможность получить комплексную оценку эффективности государственной политики в отношении развития рынков образовательных услуг и труда региона. Цифровая модель позволяет определить эффективность государственных мер воздействия, касающихся взаимодействия рынка труда и образовательных услуг с целью снижения профессионально-квалификационного дисбаланса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гайнанов Д.А., Климентьева А.Ю. Оценка дисбалансов на ключевых этапах трансфера научных исследований в условиях цифровой экономики // Региональные проблемы преобразования экономики. – 2019. – №11 (109). – С. 115-121.
2. Орешников В.В., Низамутдинов М.М. Прогноз демографического развития муниципального образования с применением методов экономико-математического моделирования // Региональная экономика: теория и практика. 2019. – Т.17. №2 (461). – С. 383-398.
3. Гаврикова А.В., Ишмуратова Д.Ф., Мигунова Ю.В. Показатели демографического развития как ключевой аспект человеческого потенциала // Развитие человеческого потенциала как условие и фактор модернизации России и ее регионов: Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. – 2015 – С. 225-228.
4. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д. Моделирование демографических процессов с использованием агент-ориентированного подхода // Федерализм. – 2014. – №4. – С. 37-46.
5. Гайнанов Д.А., Мигранова Л.И. Трансформация региональных рынков образовательных услуг и труда в условиях цифровой экономики // Региональная экономика: теория и практика. – 2020. – Т.18, №8. – С. 1430-1448.

6. Борщёв А.В. От системной динамики и традиционного ИМ – к практическим агентным моделям: причины, технология, инструменты. Электронный ресурс. URL: <http://www.gpss.ru/paper/borshevarc.pdf>.
7. Бахтизин А.Р. Агент-ориентированные модели экономики. М.: ЗАО «Издательство «Экономика», 2008. – 279 с.
8. Зайцев И. М., Федяев О. И. Агентно-ориентированный подход к моделированию интеллектуальных распределенных систем: Сб. / Донецк: ДонНТУ, 2008. – С. 337–338.
9. Сушко Е.Д. Мультиагентная модель региона: концепция, конструкция и реализация // Препринт WP/ 2012 /292. М.: ЦЭМИ РАН. 2012. – 54 с.
10. Дорошенко Т. А. Разработка агент-ориентированной модели Образовательной миграции населения региона // Вестник евразийской науки. – 2019 – Т. 11 – №5. – С. 16.
11. Насадкин М.Ю., Питухин Е.А., Астафьева М.П. Агентное моделирование поведения абитуриентов при выборе вуза в России // Фундаментальные исследования. – 2015 – Т. 2 – №8. – С. 307-311.
12. Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Сушко Е. Д. Агент-ориентированная модель для мониторинга и управления реализацией больших проектов // Экономика и управление. – 2017 – №4 (138). – С. 4-7.
13. Селиванова С.С. Формирование профессиональной идентичности студентов в качестве инструмента интенсификации трудового капитала: профориентационная деятельность // Общество: социология, психология, педагогика. – 2020. – №9.
14. Вербецкий А.Д., Фридман А.А. Политика приема в вузы и конкуренция абитуриентов // Экономическая политика. – 2016. – Т. 11. – №5.
15. Гугнина Е.В., Самсонова Е.В., Самсонова М.В. Технологии продвижения образовательных услуг на рынок //Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №2. – С. 305
16. Прохоров А. В., Семишова Е. П. Современные технологии продвижения образовательных услуг //Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. – 2014. – №10 (138).

Маматов Александр Васильевич

Марийский государственный университет, Республика Марий Эл, г.Йошкар-Ола
Д.т.н., проректор по стратегическому развитию
Тел. +7 (8362) 68-80-63 (1269)

Гальцев Александр Владимирович

Белгородский национальный исследовательский университет, г. Белгород
к.ф.-м.н., доцент, директор департамента довузовской подготовки и организации приема, ответственный секретарь приёмной комиссии
Тел. +7 (4722) 30-18-90
E-mail: galtsev@bsu.edu.ru

СЕКЦИЯ 1
«ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ»
SECTION 1
«THEORY AND METHODOLOGY OF INFORMATION
TECHNOLOGIES»

УДК 004.93

П.О. АРХИПОВ
P.O. ARKHIPOV

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ МЕТОДА НОРМАЛИЗАЦИИ
СНИМКОВ ПРИ СОЗДАНИИ ЦВЕТНЫХ ПАНОРАМ

INFORMATION MODEL OF THE METHOD OF NORMALIZATION
OF IMAGES WHEN CREATING COLOR PANORAMAS

В статье автор описывает информационную модель метода нормализации снимков созданных цветных панорам. Разработанная информационная модель основана на цветовых преобразованиях пикселей с помощью универсального цветового пространства, используя такое универсальное цветовое пространство, проводится нормализация пикселей сравниваемой панорамы относительно «эталонных» значений. Путем применения метода нормализации сравниваемых разновременных панорам удалось нормализовать значения цветовых координат пикселей, что привело к уменьшению неверно обнаруженных аномалий, повысив качество синхронизации и идентификации аномалий.

Ключевые слова: информационная модель, нормализация, панорама, цветовое пространство, изображение, снимок, пиксель.

In the article, the author describes an information model of the method of normalization of images of created color panoramas. The developed information model is based on color transformations of pixels using a universal color space, using such a universal color space, the pixels of the panorama being compared are normalized relative to the «reference» values. By applying the normalization method of compared multi-time panoramas, it was possible to normalize the values of pixel color coordinates, which led to a decrease in incorrectly detected anomalies, improving the quality of synchronization and identification of anomalies.

Keywords: information model, normalization, panorama, color space, image, snapshot, pixel.

Введение

При решении задач связанных со сравнением разновременных панорам одной и той же местности, полученных с помощью камеры БПЛА, нередко возникают проблемы, связанные с тем, что невозможно получить две абсолютно одинаковые панорамы, которые в дальнейшем можно было бы сравнить простым попиксельным перебором. Снимки для вновь созданных панорам часто могут иметь не идентичные ракурсы съемки или различное освещение. Следовательно, каждая вновь созданная панорама будет обладать своими, присущими ей особенностями, связанными с условиями съемки, зависящими от множества влияющих факторов (погодные условия, климатические времена года, время суток и т.д.). Решением подобного рода проблемы является создание универсальной процедуры нормализации цветных изображений сшитых панорам, которая позволяет выравнять уровни освещенности и цветовые характеристики выбранных снимков.

Процесс формирования сшитых разновременных панорам инспектируемой местности, был широко освещен в работах [1-3], где последовательно описаны все этапы от выбора начальных

кадров для создания панорамы, до сравнения двух и более панорам, полученных в разное время при пролете БПЛА над одним и тем же участком обследуемой территории.

Задача нормализации сравниваемых разновременных панорам будет иметь следующий вид: пусть имеется пара разновременных панорам исследуемой местности, в виде двух изображений I_1 и I_2 . С помощью известного метода коррекции яркости и цвета [4] на модели обнаружения аномалий, необходимо описать такую функцию $\eta(I_1, I_2)$, которая позволит нормализовать яркость и цвет на разновременных панорамах, повысив качество синхронизации, и уменьшив ложные срабатывания, так чтобы множество неверно обнаруженных аномалий $A\{a_1, a_2, \dots, a_n\} \rightarrow \min$. При этом предполагается, что точность и полнота классифицируемых аномалий будет стремиться к 1.

Таким образом, решение задачи нормализации цветных панорамных изображений состоит в разработке унифицированного алгоритма нормализации, оперирующего вычислениями на основе выявленных яркостных отличий сравниваемых снимков.

Информационная модель нормализации цветных панорам

Нормализация цветных изображений сшитой панорамы подразумевает под собой коррекцию яркости и цвета, описанную в работах [5-9], но для пары сшитых разновременных панорам местности. Разработанный ранее метод коррекции яркости и цвета позволяет устранить отличия в уровне освещенности между сшиваемыми снимками и повысить точность цветовых и яркостных характеристик итоговых панорам, а применение его при обнаружении аномалий на разновременных панорамах является целесообразным [10].

На рисунке 1 представлена общая схема алгоритма поиска аномалий на разновременных панорамах.

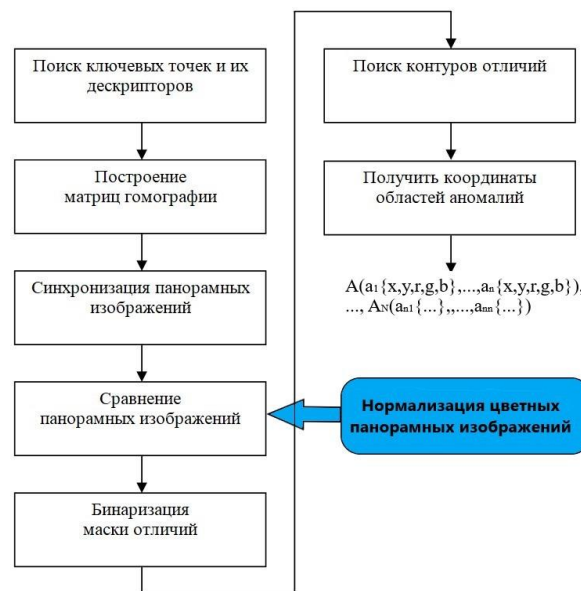


Рисунок 1 – Общая схема алгоритма поиска аномалий на разновременных панорамах

Разработанный метод нормализации цветных снимков сшитой панорамы представляет собой комплекс процедур, включающих яркостные преобразования между цветовыми пространствами пикселей эталонной и сравниваемой панорамы; расчет среднего значения и стандартного отклонения для матриц яркостей; приведение к нормальному (скорректированному по значению яркости пикселей эталонной панорамы) значению пикселей сравниваемой панорамы. При сравнении нормализованных панорам, возрастает качество синхронизации сравниваемых панорам, а также уменьшаются ложные срабатывания при последующем поиске аномалий.

Информационная модель метода нормализации цветных изображений сшитой панорамы включает следующие этапы:

- преобразование цвета между цветовыми пространствами *RGB* и *CIE LAB* для эталонной и сравниваемой панорамы;
- извлечение матриц яркостей из преобразованных в цветовое пространство *CIE LAB* панорам;
- расчет среднего значения и стандартного отклонения для извлеченных матриц яркостей;
- нормализация матрицы яркости на основе полученных средних значений и стандартных отклонений сравниваемой панорамы с эталоном;
- замена матрицы яркости сравниваемой панорамы нормализованной матрицей;
- обратное преобразование цвета между цветовыми пространствами *CIE LAB* и *RGB* для сравниваемой панорамы.

Входными данными информационной модели метода нормализации является пара сравниваемых одновременных панорам местности: $\{P_{N1}, P_{N2}\}$ в формате *jpg*. Выходные данные представлены в виде тех же панорам, но с модификацией, а именно, вторая сравниваемая панорама прошла процесс нормализации относительно первой панорамы. Таким образом, на выходе имеем панорамы: P_{N1} и P_{N2}^{norm} , которые впоследствии станут входными данными информационной модели обнаружения аномалий [4]. Полученные данные информационной модели представим в таблице 1.

Таблица 1 – Данные информационной модели нормализации

Наименование данных	Идентификаторы данных	Описание данных
Панорамное изображение	P_{N1}	Изображение, сгенерированное из массива снимков, полученных с камеры квадрокоптера
Сравниваемое панорамное изображение	P_{N2}	Изображение, сгенерированное из массива снимков, полученных с камеры квадрокоптера через некоторый промежуток времени, в формате <i>jpg</i>
Преобразованные панорамные изображения	Pl_{N1}, Pl_{N2}	Сравниваемые одновременные панорамы, преобразованные в цветовое пространство <i>CIE LAB</i>
Матрицы яркости	L_{N1}, L_{N2}	Матрица яркости пикселей панорамы Pl_{N1} и матрица яркости сравниваемой панорамы Pl_{N2}
Среднее значение	$L^{mean}(N1, N2)$	Среднее значение матриц яркостей L_{N1} и L_{N2}
Стандартное отклонение	$L^{sdn}(N1, N2)$	Стандартное отклонение матриц яркостей L_{N1} и L_{N2}
Матрица яркости	L_{N2}^{norm}	Матрица яркости пикселей сравниваемого панорамного изображения Pl_{N2} , прошедшая нормализацию
Сравниваемое панорамное изображение	Pl_{N2}^{norm}	Сравниваемое панорамное изображение, прошедшее нормализацию, в цветовом пространстве <i>CIE LAB</i>
Сравниваемое панорамное изображение	P_{N2}^{norm}	Сравниваемое панорамное изображение, прошедшее нормализацию, в цветовом пространстве <i>RGB</i>

Схема информационной модели метода нормализации цветных снимков сравниваемых панорам имеет вид в соответствии с рисунком 2.

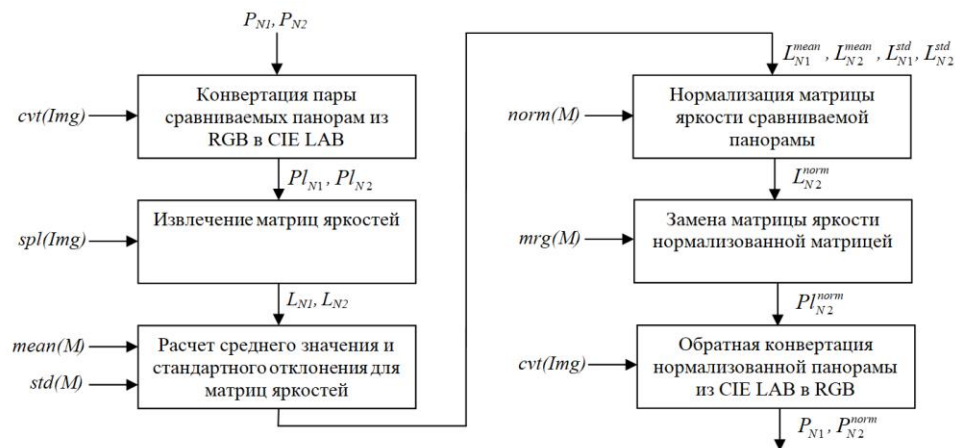


Рисунок 2 – Информационная модель метода нормализации цветных снимков сравниваемых панорам

Рассмотрим описанные этапы информационной модели, представленные на рисунке 2, более подробно:

– получение пары сравниваемых панорам P_{N1} , P_{N2} , представленных в виде двух матриц, в цветовом пространстве RGB . Например, матрица P_N может иметь вид:

$$P_N = \begin{bmatrix} \{r, g, b\}_{1,1} & \cdots & \{r, g, b\}_{1,m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \{r, g, b\}_{n,1} & \cdots & \{r, g, b\}_{n,m} \end{bmatrix},$$

где n , m – размеры матрицы (ширина и высота изображения),

$\{r, g, b\}_{n,m}$ – цвет пикселя изображения в цветовом пространстве RGB ;

– преобразование цветового пространства пары сравниваемых панорам P_{N1} , P_{N2} , из RGB в $CIE LAB$ функцией $cvt(Img)$. Матрица Pl_N после преобразования будет иметь вид:

$$Pl_N = \begin{bmatrix} \{L, \alpha, \beta\}_{1,1} & \cdots & \{L, \alpha, \beta\}_{1,m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \{L, \alpha, \beta\}_{n,1} & \cdots & \{L, \alpha, \beta\}_{n,m} \end{bmatrix},$$

где n , m – размеры матрицы (ширина и высота изображения),

$\{L, \alpha, \beta\}_{n,m}$ – цвет пикселя изображения в цветовом пространстве $CIE LAB$;

– извлечение матриц яркости из пары сравниваемых панорам Pl_{N1} , Pl_{N2} при помощи функции $spl(Img)$. Извлеченная матрица яркости L_N будет иметь вид:

$$L_N = \begin{bmatrix} L_{1,1} & \cdots & L_{1,m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ L_{n,1} & \cdots & L_{n,m} \end{bmatrix},$$

где n , m – размеры матрицы (изображения),

$L_{n,m}$ – яркость пикселя изображения;

– поиск средних значений $L^{mean}(N1, N2)$ и стандартных $L^{std}(N1, N2)$ отклонений для матриц L_{N1} , L_{N2} функциями $mean(M)$ и $std(M)$;

– нормализация матрицы яркости сравниваемой панорамы L_{N2} функцией $norm(M)$ при помощи вычисленных средних значений матриц яркости и стандартных отклонений в матрицу L_N^{norm} , которая принимает вид:

$$L_N^{norm} = \begin{bmatrix} L_{1,1}^{norm} & \dots & L_{1,m}^{norm} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ L_{n,1}^{norm} & \dots & L_{n,m}^{norm} \end{bmatrix},$$

где n, m – размеры матрицы (ширина и высота изображения),

L_N^{norm} – нормализованная яркость пикселя изображения;

– замена матрицы яркости сравниваемой панорамы L_{N2} на L_{N2}^{norm} и получение нормализованной сравниваемой панорамы, используя функцию $mrq(M)$. Матрица Pl^{norm} примет вид:

$$Pl_N^{norm} = \begin{bmatrix} \{L, \alpha, \beta\}_{1,1}^{norm} & \dots & \{L, \alpha, \beta\}_{1,m}^{norm} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \{L, \alpha, \beta\}_{n,1}^{norm} & \dots & \{L, \alpha, \beta\}_{n,m}^{norm} \end{bmatrix},$$

где n, m – размеры матрицы (ширина и высота изображения),

$\{L, \alpha, \beta\}_{n,m}^{norm}$ – нормализованный цвет пикселя изображения в цветовом пространстве *CIE LAB*;

– обратная конвертация нормализованной сравниваемой панорамы L_{N2}^{norm} из *CIE LAB* в *RGB* функцией $cvt(Img)$. Нормализованная панорама в цветовом пространстве *RGB* имеет вид:

$$P_N^{norm} = \begin{bmatrix} \{r, g, b\}_{1,1}^{norm} & \dots & \{r, g, b\}_{1,m}^{norm} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \{r, g, b\}_{n,1}^{norm} & \dots & \{r, g, b\}_{n,m}^{norm} \end{bmatrix},$$

где n, m – размеры матрицы (ширина и высота изображения),

$\{r, g, b\}^{norm}$ – нормализованный цвет пикселя изображения в цветовом пространстве *RGB*.

В результате выполнения всех перечисленных этапов, получаем выходные панорамные изображения P_{N1} и P_{N2}^{norm} , готовые для дальнейшей синхронизации и поиска идентифицируемых аномалий.

Заключение

В рамках известного подхода к автоматизированной идентификации аномалий при сравнении разновременных панорам, большое значение оказывает их приведение к виду подходящему для сравнения, как по геометрическим, так и по цветовым значениям пикселей.

Влияние на сформированную панораму условий съемки отдельных кадров (снимков) приводит к тому, что каждая вновь созданная панорама обладает своими, присущими ей особенностями. Для уменьшения влияния таких негативных факторов (недостаток освещенности, тени, расфокус и т.п.) необходимо применить универсальную процедуру нормализации цветных панорам, которая позволит выровнять уровни освещенности и цветовые характеристики выбранных снимков.

Благодаря предложенной информационной модели удалось устранить недостатки, присущие «сырым» необработанным панорамам, полученным при сшивке последовательных кадров после съемки с БПЛА. Применение данного метода нормализации панорам, приводит к значительному увеличению количества найденных «значимых» аномалий, по сравнению с аномалиями типа «шум». Полученные нормализованные панорамы уже можно использовать для дальнейшей классификации идентифицированных аномалий с помощью проектируемой модели нейронной сети [11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архипов П.О., Сидоркин И.И., Цуканов М.В. Алгоритмическая модель технологии минимизации искажений при сшивании снимков, полученных с БПЛА // Системы высокой доступности. 2018. №5. С. 30-35. DOI: 10.18127/j20729472-201805-04.
2. Архипов П.О., Цуканов М.В. Алгоритмическая модель устранения отличий уровня освещенности между снимками, составляющими фотоплан // Информационные системы и технологии, 2019, № 4(114), С. 23-29.
3. Архипов П.О. Информационная модель метода коррекции яркости и цвета при создании панорамных изображений // Сборник материалов VIII Международной научно-технической конференции «Информационные технологии в науке, образовании и производстве» (ИТНОП-2020). 24-25 сентября 2020. Белгород, НИУ «БелГУ». С. 22-26.
4. Архипов П. О., Цуканов М. В. Алгоритмическая модель обнаружения аномалий на разновременных панорамах // Системы высокой доступности, 2021. Т. 17. № 2. С. 5–10. DOI:10.18127/j20729472-202102-01.
5. Носов А.В., Бузаев Д.В., Зотин А.Г. Сравнение алгоритмов выравнивания освещенности на изображении // Решетневские чтения. - Красноярск, 2012. - Ч. 2. - С.623-624.
6. Воейкова А. В., Сахарова М. А. Алгоритмы коррекции цветового баланса изображений // Вопросы науки и образования, 2017, 10 (11), С. 43-45.
7. Архипов П.О. Подход к решению задачи поиска аномалий при нормализации выбранных цветных панорамных изображений // Информационные системы и технологии, 2022. – №3(131). – С. 29–37.
8. Jobson D., Rahman Z., Woodell G. A Multiscale Retinex for Bridging the Gap between Color Images and the Human Observation of Scenes // IEEE Trans. Image Processing. 1997. Vol. 6, № 7. P. 965–976.
9. Канаева И.А., Болотова Ю.А. Методы коррекции цвета и яркости при создании панорамных изображений // Компьютерная оптика, 2018, 42 (5), С. 885-897. DOI: 10.18287/2412-6179-2018-42-5-885-897.
10. Архипов П.О., Трофименков А.К., Цуканов М.В., Носова Н.Ю. Исследование методов детектирования ключевых точек при создании панорамных изображений // Системы и средства информатики, 2022. Т.32. №2. С.92 – 104. DOI: 10.14357/08696527220209.
11. Arkhipov, P.O., Philippskih, S.L. Building an ensemble of convolutional neural networks for classifying panoramic images // Pattern Recognition and Image Analysis, 2022. Vol. 32, No. 3, pp. 511-514. DOI: 10.1134/S1054661822030051.

Архипов Павел Олегович

Орловский филиал ФГУ «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН» (ОФ ФИЦ ИУ РАН), г. Орёл

Кандидат технических наук, директор

Тел.: +7(4862)33-01-28

E-mail: arpaul@mail.ru

Arkhipov Pavel Olegovich

Orel Branch of the FRC «Computer Science and Control» of the RAS (OB FRC CSC RAS), Orel

Candidate of Technical Sciences, director

Tel.: +7(4862)33-01-28

E-mail: arpaul@mail.ru

УДК 621.391

С.П. БЕЛОВ, А.А. КОРКИН
S.P. BELOV, A.A. KORKIN**О ПОВЫШЕНИИ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ДЕКАМЕТРОВЫХ
ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ
ПРИМЕНЕНИЯ АНТИФЕДИНГОВОГО КОДИРОВАНИЯ****ON INCREASING THE NOISE IMMUNITY OF DECAMETERS INFO-
COMMUNICATION SYSTEMS ON THE BASIS OF THE APPLICATION
OF ANTI-FADING CODING**

При реализации информационного обмена между территориально распределенными абонентами с использованием декаметровых инфокоммуникационных систем достаточно часто возникают различного вида замирания передаваемых сигналов, вызванных быстрыми и медленными замираниями, возникающими в ионосфере, что приводит к существенному уменьшению помехоустойчивости принимаемой информации. В связи с этим в докладе рассматривается возможность повышения помехоустойчивости информации, при ее передаче с использованием декаметровых инфокоммуникационных систем, на основе метода антифедингового кодирования с приведением результатов вычислительных экспериментов.

Ключевые слова. декаметровые инфокоммуникационные системы, антифединговое кодирование, помехоустойчивые коды

When implementing information exchange between geographically distributed subscribers using decameter infocommunication systems, various types of fading of transmitted signals often occur due to fast and slow fading that occur in the ionosphere, which leads to a significant decrease in the noise immunity of the received information. In this regard, the report considers the possibility of increasing the noise immunity of information when it is transmitted using decameter infocommunication systems, based on the anti-fading coding method with the results of computational experiments.

Keywords. decameter infocommunication systems, anti-fading coding, noise-immune codes

Декаметровые инфокоммуникационные системы из-за возможности передачи электромагнитных волн на расстояния, превышающие десятки, а иногда и сотни тысяч километров, широко используются при реализации информационного обмена между территориально распределенными абонентами. Однако существенное уменьшение уровня принимаемых канальных сигналов, вызванное хаотически возникающими медленными или быстрыми замираниями, при отражении электромагнитных волн от неоднородностей ионосферы, приводит к возникновению большого количества ошибок в процессе реализации информационного обмена.

В связи с этим, в настоящее время, с учётом специфики замираний, средняя продолжительность которых в существующих каналах декаметровой связи часто значительно превышает длительность информационного элемента [1], что создает возможность повысить помехоустойчивость передаваемой информации, на основе использования метода антифедингового кодирования [2].

Для получения количественных оценок изменения вероятности ошибки передаваемой информации в декаметровых инфокоммуникационных системах были проведены вычислительные эксперименты при использовании в качестве переносчиков информации в указанных системах канальных сигналов, с различными видами помехоустойчивого кодирования, а также антифедингового метода. Вычислительные эксперименты проводились с применением программного обеспечения LabVIEW 2016, разработанного компанией National Instruments и среды графического программирования «Simulink». Результаты вычислительных экспериментов с представлением численных значений вероятности ошибки представлены ниже.

Для формирования вектора ошибок был написан код, представленный на рисунке 1. Данный вектор используется в модели для симуляции пакетов ошибок. Длина блоков ошибок является изменяемым параметром. Расстояние между двумя соседними блоками ошибок является случай-

ным целым числом от 1 до N с равномерным распределением. Общее число сравниваемых бит равно десяти тысячам.

```

1 -   clc
2 -   clear all
3 -   errors=zeros(1,10^4);
4 -   n=1;
5 -   while n<10^4-300
6 -       n=n+floor(300*rand(1))+3;
7 -       errors(n:n+2)=[1 1 1];
8 -   end
  
```

Рисунок 1 – Код для формирования вектора ошибок

В следующем эксперименте сравнивается помехоустойчивость инфокоммуникационных систем с блочным и псевдслучайным перемежением с применением созданных сконфигурированных моделей, представленных на рисунках 2–3.

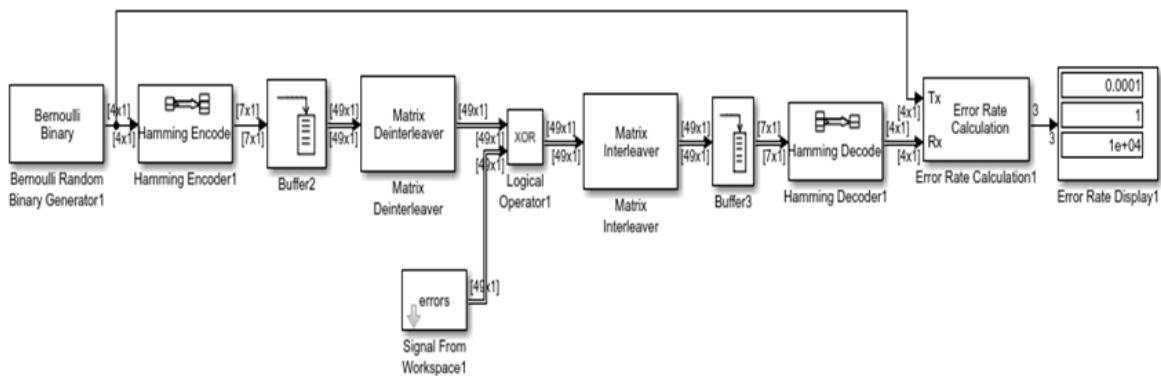


Рисунок 2 – Модель системы с кодом Хемминга (7, 4) и блочным перемежением

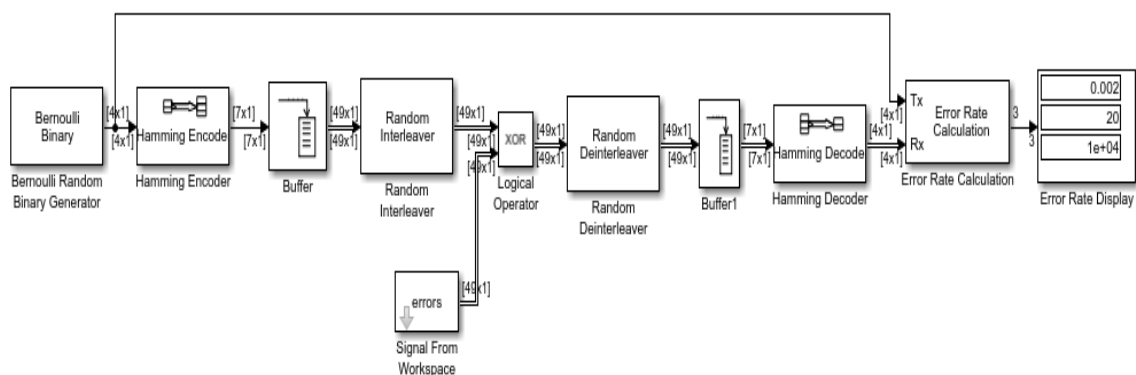


Рисунок 3 – Модель системы с кодом Хемминга (7, 4) и псевдслучайным перемежением

Результаты, полученные в ходе проведения вычислительных экспериментов представлены в Таблице 1.

Таблица 1 – Результаты вычислительных экспериментов

Длина блока ошибок	Вероятность ошибки	
	Блочное	Псевдослучайное
2	0.0003	0.0007
3	0.0007	0.0025
4	0.0019	0.0059
5	0.0023	0.0092
6	0.0035	0.0132
7	0.0041	0.0185
8	0.0087	0.0227
9	0.0119	0.0213
10	0.0156	0.0243

Заключение

При анализе результатов, полученных в процессе проведения вычислительных экспериментов, можно заметить, что блочное перемежение при всех использованных длинах блока ошибок, показало лучшие результаты чем псевдослучайное перемежение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Исакевич, В.В. О параметрах быстрых замираний дальнего тропосферного распространения радиоволн. [Текст] В кн.: «Повышение эффективности и надёжности РЭС»: Межвуз. сб. науч. трудов. Л., ЛЭТИ. вып. 6. 37-44.

Дронов А.Е., Шадчнев В.Я., Романовский В.Т. 2001. Способы перемежения при помехоустойчивом кодировании. Перспективные направления развития цифровых систем передачи информации: сборник статей. М.: ГУ НПО «Специальная техника и связь» МВД России. С. 91-98.

Белов Сергей Павлович

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород
Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

Тел.: +79803236104

E-mail: belov@bsu.edu.ru

Коркин Анатолий Алексеевич

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород
Магистр кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

Тел.: +7 9004870155

E-mail: 1319392@bsu.edu.ru

УДК 004.7

В.Н. ВОЙЦЕХОВСКИЙ, Д.Ю. ЧЕРНИКОВ, А.В. ЦЫПЦОВА
V.N. VOITSEKHOVSKY, D.YU. CHERNIKOV, A.V. TSYPTSOVA

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В РАДИОКАНАЛЕ СЕТИ *Wi-Fi*

STATISTICAL CHARACTERISTICS OF INFORMATION TRANSFER RATE IN *Wi-Fi* NETWORK RADIO CHANNEL¹

*Описана методика проведения натурного эксперимента по измерению основных параметров передачи данных в локальной радиосети, построенной по технологии *Wi-Fi*. Приведены и обсуждаются результаты проведения такого измерительного эксперимента для сетей *Wi-Fi* в диапазонах 2.4 и 5 ГГц.*

Ключевые слова: зона радиопокрытия *Wi-Fi*, диапазон частот, схема организации связи, скорость передачи информации, параметры используемых сигналов, интерфейс взаимодействия, уровень излучаемой мощности.

*The method of conducting a full-scale experiment to measure the main parameters of data transmission in a local radio network built using *Wi-Fi* technology is described. The results of such a measurement experiment for *Wi-Fi* networks in the 2.4 and 5 GHz bands are presented and discussed.*

Keywords: *Wi-Fi* radio coverage area, frequency range, communication arrangement scheme, information transmission rate, parameters of used signals, interface of interaction, level of radiated power.

Многочисленные ситуации связанные с развертыванием и использованием сетей радиосвязи внутри помещений (Wireless Indoor Local area Network) приводят к необходимости оценки реальной скорости передачи информации в подобных сетях традиционными абонентскими устройствами [1-4]. В этой связи в данной работе предпринята попытка измерений скорости передачи информации в диапазонах 2.4 ГГц и 5 ГГц, характерных для *Wi-Fi* сетей (рис.1). Экспериментальной оценке подлежала скорость передачи внутри помещений при отсутствии каких-либо естественных или искусственных препятствий при использовании традиционных абонентских устройств, какими являются ноутбук или смартфон. Расстояние между использованной точкой *Wi-Fi* и приемником по условиям натурного эксперимента не превышало 15 метров.

В непосредственной близости (не далее 5 метров) от точки доступа *Wi-Fi* находились анализатор спектра, который принимал сигнал *Wi-Fi* на внешнюю штыревую антенну и мобильный телефон - смартфон, который использовался в роли клиента сети *Wi-Fi* и первоначального индикатора наиболее характерных потребительских характеристик формируемой таким образом зоны радиопокрытия *Wi-Fi*.

Схема организации связи, использованная при проведении описываемого натурного эксперимента приведена на рис. 1.

Приложение, установленное на смартфон [5], позволяло просмотреть состояние работающих в окрестностях точек доступа *Wi-Fi* сетей, параметры их работы и устройства, подключенные к ним. В частности, данное программное обеспечение показывало уровень сигнала от каждой сети в данной точке, на каком канале работает каждая сеть, и какова загруженность каждого канала различными сетями. Если сеть имеет идентификатор, то он выводится над сигналом, который отображается над сигналом в частотном канале, который он занимает.

¹ * Исследование выполнено при финансовой поддержке Красноярского краевого фонда науки, в рамках научного проекта (код заявки 2022060208783).

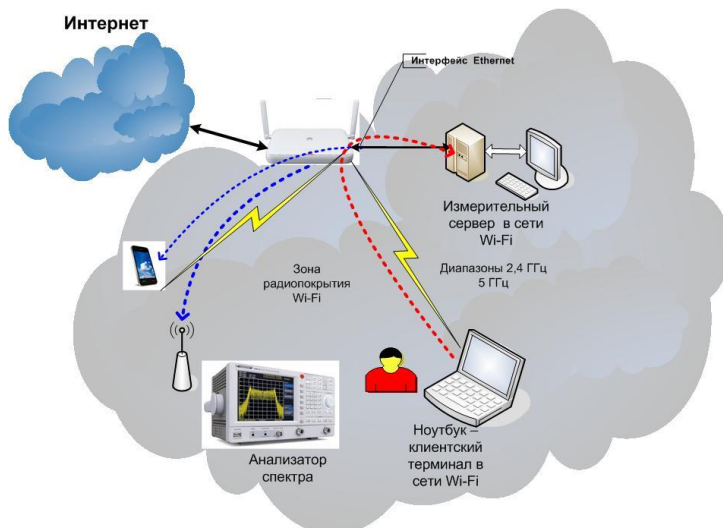


Рисунок 1 – Схема организации связи

В общем случае интерфейс программы состоит из четырёх вкладок, но в ходе эксперимента были использованы только две из них (рис 2).

Пример вывода на экран данной информации приведен на нижеследующем рисунке [5]. В правой части рисунка приведена индикация частотного канала для сети с именем ИК_304 в диапазоне 2,4 ГГц, а на левой – информация по подключенной сети *Wi-Fi* в диапазоне 5 ГГц.

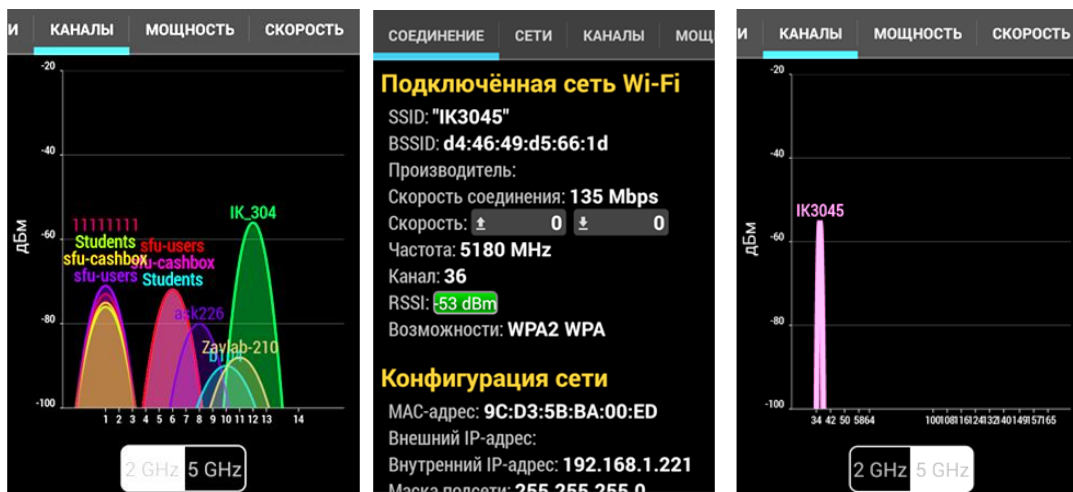


Рисунок 2 – Общий вид интерфейса ПО *Wi-Fi Monitoring*

В качестве *Wi-Fi* точки было использовано оборудование Huawei AR611W [6], интерфейс администратора для которого позволяет управлять уровнем излучаемой мощности P_{wi-fi} , полосой частот Δf , используемой для передачи информации в выбранном частотном канале N_f , а также выбором номера N_f используемого частотного канала (рис. 3).

Непосредственно для измерения скорости в радиоканале *Wi-Fi* была использована утилита *iperf3* [7]. Для организации измерений скорости на персональном компьютере, который используется в качестве сервера и подключен к одному из внутренних Ethernet-портов Huawei AR611W, вводится команда вида: `iperf3 -s`, где ключ `-s` говорит о необходимости использования утилиты *iperf3* в серверном режиме.

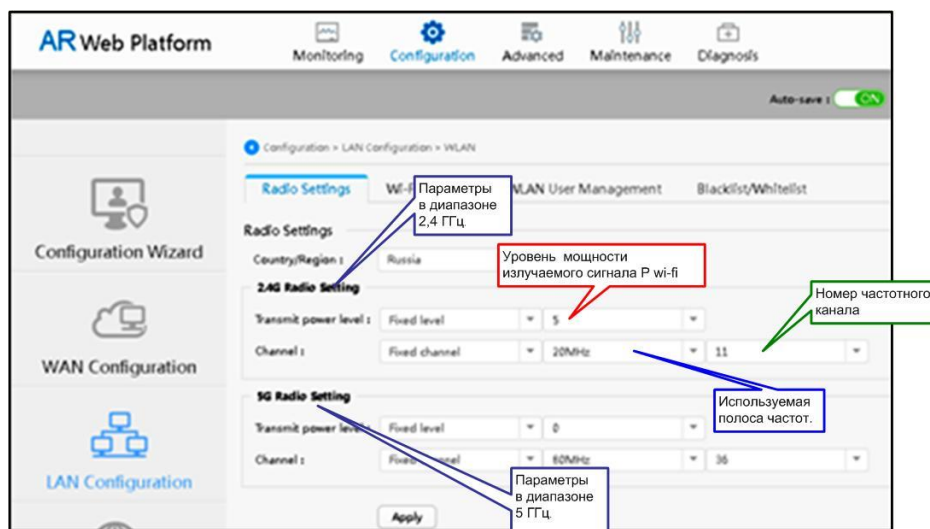


Рисунок 3 – Интерфейс администратора для управления параметрами *Wi-Fi* сети для Huawei AR611W

На ноутбуке, который использовался в качестве клиента в сети *Wi-Fi*, аналогичная команда имеет вид:

```
Iperf -c 192.168.1.5 -p 5201 -t 1000 >wifi_2_4_min.txt,
```

где ключ `-c` говорит о необходимости использования `iperf3` в клиентском режиме, далее приведен адрес компьютера, который используется в качестве измерительного сервера `192.168.1.5`, ключ `-p` указывает номер порта, используемого для измерений, а ключ `-t` задает длительность измерений в сек. После символа `>` указывается имя файла, в который производится запись результатов измерений. Результаты измерений скорости, записанные в текстовый файл с указанным именем, имеют следующий вид:

```
[ 4] local 192.168.1.182 port 58330 connected to 192.168.1.5 port 5201
[ ID] Interval      Transfer  Bandwidth
[ 4] 0.00-1.01 sec  4.00 MBytes 33.1 Mbits/sec
[ 4] 1.01-2.01 sec  3.75 MBytes 31.5 Mbits/sec
[ 4] 2.01-3.01 sec  4.00 MBytes 33.7 Mbits/sec
[ 4] 3.01-4.01 sec  3.75 MBytes 31.3 Mbits/sec
[ 4] 4.01-5.01 sec  4.00 MBytes 33.5 Mbits/sec
```

Единицы измерения скорости

Скорость передачи информации в радиоканале.

Рисунок 4 – Содержание текстового файла с результатами измерений скорости в радиоканале сети *Wi-Fi*

Для целей проведения описываемого измерительного эксперимента интерес представляет предпоследний столбец. После обработки полученной измерительной информации, обработанные результаты могут быть представлены в виде следующего графика.

Красная кривая соответствует нижней границе мощности излучаемого сигнала, синяя – наоборот, верхней границе излучаемой мощности в диапазоне 2.4 ГГц.

Для экспериментальной оценки количества абонентских устройств, которые используют диапазоны 2.4 и 5 ГГц проведены измерения реальной радиобстановки для объектов в составе кампуса Сибирского федерального университета (СФУ), на площадях которых и предполагается предоставлять услуги передачи данных на основе технологии *Wi-Fi*. Полученные результаты из-

мерений однозначно свидетельствуют о полном доминировании диапазона 2.4 ГГц в части использования технологий *Wi-Fi*.

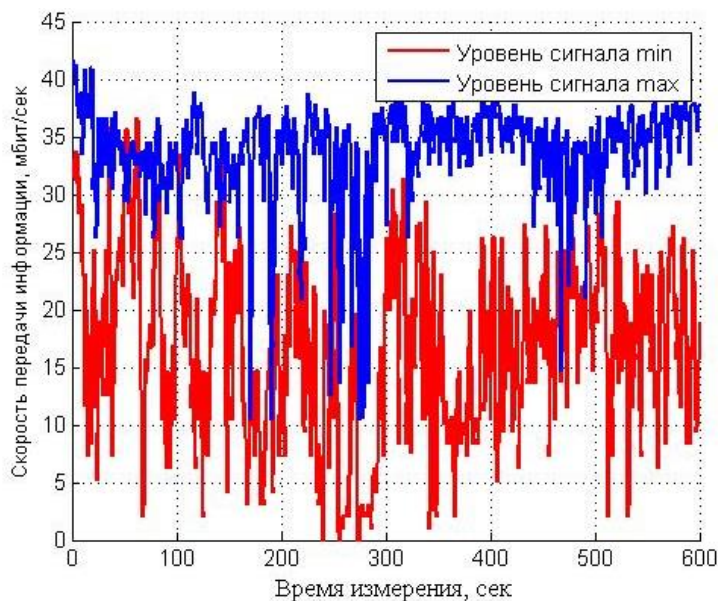


Рисунок 5 – Результаты измерений скорости в радиоканале *Wi-Fi* 2.4 ГГц для различных уровней мощности излучаемого сигнала.

Сравнение скоростей передачи данных для диапазонов 2,4 ГГц и 5 ГГц представлено на рис.6. На данном рисунке обе кривые соответствуют максимально возможной излучаемой мощности. Полученные таким образом результаты очень хорошо соответствуют рис. 2 (центральная часть).

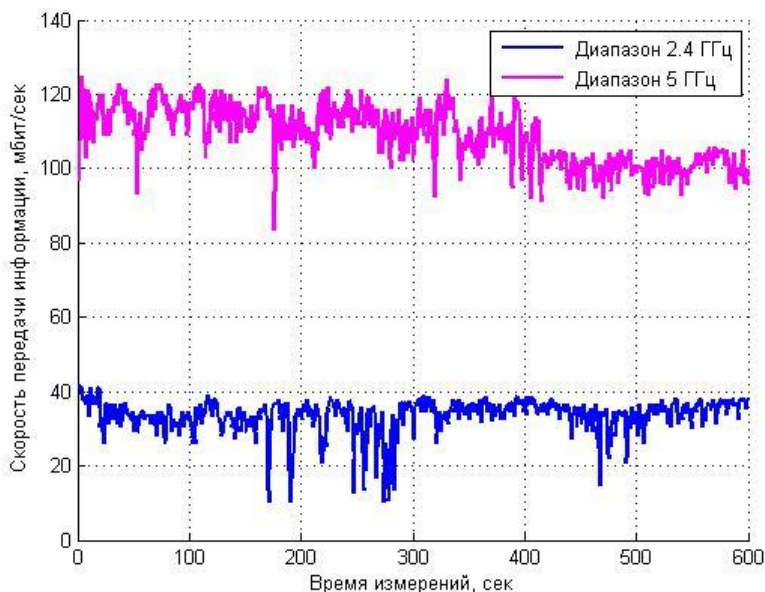


Рисунок 6 – Сравнение скоростей передачи данных в диапазонах 2,4 ГГц и 5 ГГц. при максимальных уровнях излучаемой мощности

Однако в диапазоне 5 ГГц для работы системы связи отведена полоса частот $\Delta f=80$ МГц, тогда как в диапазоне 2,4 ГГц $\Delta f=20$ МГц (рис. 7). Спектральные параметры используемых сигналов можно надежно контролировать по характеру кривых, которые формирует анализатор спектра

(рис. 7). Спектры сигналов *Wi-Fi* в диапазоне 2,4 ГГц при различных уровнях излучаемой мощности (min – слева, max – справа), полученные с помощью анализатора спектра, представлены на нижеследующих рисунках:

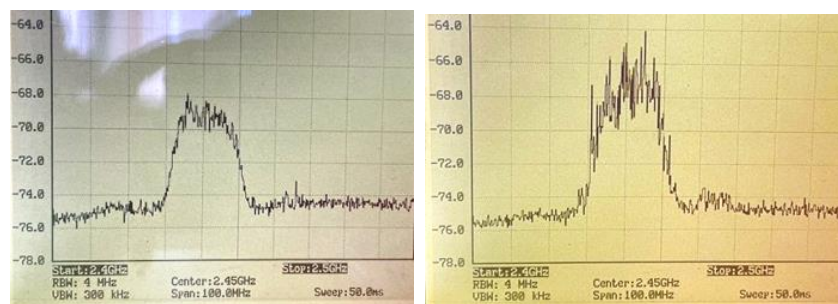


Рисунок 7 – Спектры сигналов при различных уровнях излучаемой мощности

Полученные результаты измерений позволили провести их статистическую обработку, в частности построить зависимость оценки мат. ожидания скорости ПД в сети *Wi-Fi* от уровня мощности P_{wi-fi} , излучаемой AP, которая приведена на рис. 8.

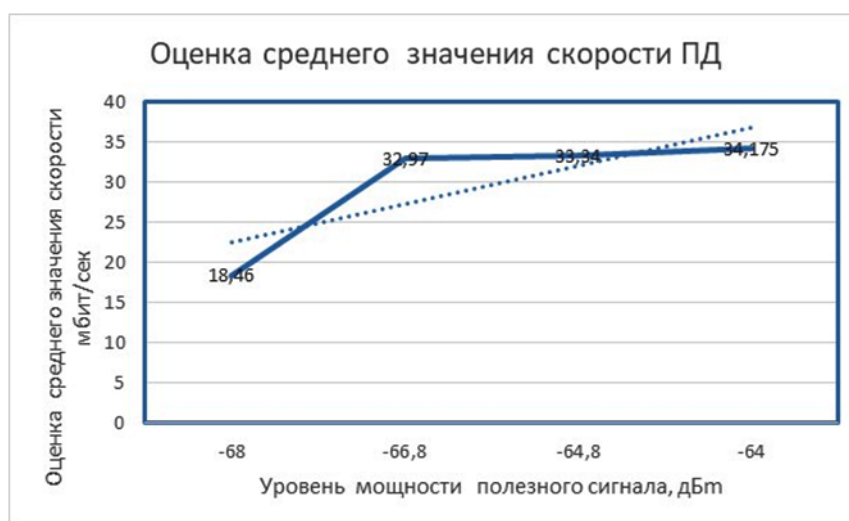


Рисунок 8 – Оценка среднего значения скорости передачи данных.

Примерно аналогичную зависимость удалось построить и для среднеквадратического отклонения значений скорости ПД в радиоканале *Wi-Fi* в зависимости от уровня мощности излучаемого связного сигнала.

Как показала проведенная серия измерений, процент использования диапазона 2,4 ГГц для большинства реальных ситуаций в настоящий момент времени составляет порядка 90 %. Конечно есть основания полагать, что в ближайшем будущем это соотношение будет меняться. Диапазон частот 2,4 ГГц, исходя хотя бы из рис. 3 - перегружен, да и количество абонентских устройств, которые способны работать в диапазоне 5 ГГц с каждым днем возрастает. Кроме этого сигнал в диапазоне 2,4 ГГц не отличается высокой стабильностью.

Дополнительным результатом проведенных измерительных экспериментов может служить вывод о том, что технология *Wi-Fi* самостоятельно не сможет решить вопрос о полного радиопокрытия территории превышающей сотни метров и может быть использована в тандеме с мобильной связью стандарта *LTE* или близкой по идеологии профессиональной системой радиодоступа [8].

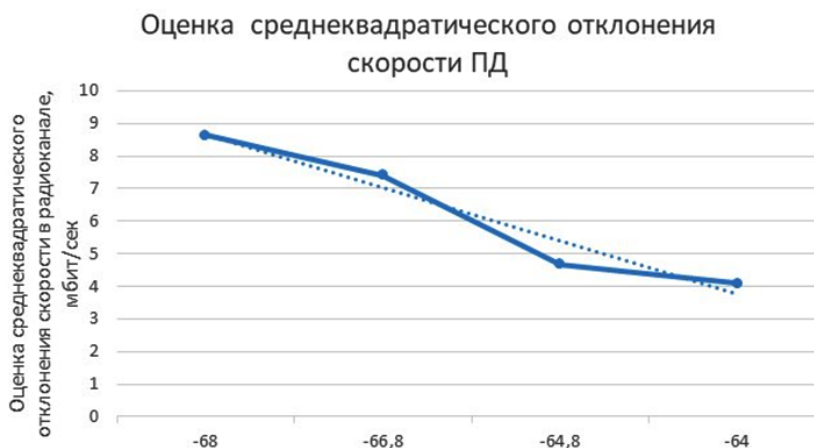


Рисунок 9 – Оценка среднеквадратического отклонения скорости ПД

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альшаев И.А., Лаврухин В.А О проектировании и оптимизации сетей *Wi-Fi* // Информационные технологии и телекоммуникации, 2016, Том 4, № 1 с.87-95
2. Забродин А.Н., Войцеховский В.Н., Черников Д.Ю. Особенности измерения параметров мультисервисной сети связи на основе технологии *Wi-Fi*. В сборнике: Фундаментальные основы, теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики. Материалы 19-ой Международной молодежной научно-практической конференции. 2018. С. 287-292
3. Зеленков Н.С., Черников Д.Ю. Indoor-навигация с использованием сетей *Wi-Fi*., В сборнике: Современные проблемы радиоэлектроники. Материалы XXII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 125-й годовщине Дня радио. Сибирский федеральный университет. 2020. С. 301-305.
4. Ревва И.Л, Богданов А.А., Малахова Е.А. Применение точек доступа *Wi-Fi* для регистрации движения объектов / Научный вестник НГТУ том 68, № 3, 2017 г.
5. Google Play: официальный сайт. [Электронный ресурс] - URL: <https://play.google.com/>
6. Huawei: официальный сайт. [Электронный ресурс] - URL: <https://russia-huawei.ru/>
7. iPerf: официальный сайт. [Электронный ресурс] - URL: <https://iperf.fr/>
8. Шорин А.О., Девлишов А.Г., Туров А.В., Черников Д.Ю. Использование технологии космической ретрансляции внутрисистемных каналов связи в задачах организации абонентского радиодоступа. - Научный журнал «Исследования наукограда», №3-4(18), 2016, стр. 39-44. - ISSN 2225-9449.

Войцеховский Вадим Николаевич

Сибирский Федеральный Университет, г. Красноярск
Кафедра «Инфокоммуникаций»
Тел.: +7(391) 249-72-50

Черников Дмитрий Юрьевич

Сибирский Федеральный Университет, г. Красноярск
К.т.н., зав. кафедры «Инфокоммуникаций»
Тел.: +7(391) 249-72-50
E-mail: dchernikov@sfu-kras.ru

Цыпцова Арина Витальевна

Сибирский Федеральный Университет, г. Красноярск
Аспирант, кафедра «Инфокоммуникаций»
Тел.: +7(913) 594-31-50
E-mail: arinacypcova@gmail.ru

УДК 621.397

Е.Г. ЖИЛЯКОВ, И.И. ЛУБКОВ
E.G. ZHILYAKOV I.I. LUBKOV

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ВИЗУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ СУБПОЛОСНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ

VISUAL INFORMATION TRANSFORMATION BASED ON SUB-BAND REPRESENTATIONS

В данной статье рассмотрены преобразования визуальной информации на основе разложения по базису собственных векторов субполосных матриц в части сжатия битовых представлений изображений земной поверхности. Описаны теоретические основы осуществляемых преобразований. Приведены результаты сжатия как субполосным методом, так и методом JPEG2000.

Ключевые слова: цифровые изображения; преобразования визуальной информации; сжатие изображений; субполосный анализ.

This article discusses the transformation of visual information based on image decomposition on the basis of the subband matrices eigenvectors in terms of compression the earth's surface images. The theoretical foundations of the ongoing transformations are described. The results of compression by both the subband method and the JPEG2000 method are presented.

Keywords: digital images; transformation of visual information; image compression; subband analysis.

В процессе регистрации, передачи по каналам связи, хранения, визуализации и анализа изображений, возникает необходимость осуществлять те или иные преобразования визуальной информации. Это обусловлено как различными ограничениями, вносимыми информационно-техническими средствами, так и возможностью упростить процесс анализа информации. Одним из таких способов преобразований является сжатие битовых представлений изображений. Вопрос уменьшения количества бит, необходимых для хранения и передачи изображений, особенно остро стоит в задачах, решаемых за счет технических средств с ограниченной пропускной способностью каналов связи и объемов хранилищ цифровых данных. Одной из таких задач является дистанционное зондирование земли, а получаемые при этом изображения земной поверхности (ИЗП), в современном мире имеют широкое распространение во многих сферах деятельности, от служб чрезвычайных ситуаций до сельского хозяйства и т.д.

Наиболее распространенными существующими методами сжатия изображения являются JPEG и JPEG2000. Данные методы реализуют сжатие на основе частотных представлений и реализуются, применяя дискретно-косинусное и вейвлет преобразования. JPEG и JPEG2000 являются универсальными методами, и предназначены для типовых изображений окружающей действительности, таким образом, при разработке данных методов, критерии вносимых визуальных искажений подбирались соответственно. Однако, визуальная информация заключенная в ИЗП отличается от стандартных изображений, таких как фотографии пейзажей, людей и т.д. Искажения, вносимые стандартными методами, могут не всегда адекватно соответствовать достаточности визуального восприятия при восстановлении сжатых изображений. ИЗП характеризуется набором определенных структур, содержащих основную информацию изображения, изменение которых, приведет к значительной потере информации.

В данной статье представлен метод сжатия изображений F на основе разложения по базису собственных векторов субполосных матриц $A=(a_{i1,i2})$ и $B=(b_{k1,k2})$, определяемых выражением 1 и 2 соответственно.

$$F=\{f_{ik}\}, i=1\cdots N; k=1\cdots M.$$

$$a_{i_1 i_2} = \begin{cases} \frac{\sin(\alpha_2(i_1 - i_2)) - \sin(\alpha_1(i_1 - i_2))}{\pi(i_1 - i_2)}, & i_1 \neq i_2, \\ \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\pi}, & i_1 = i_2, \end{cases} \quad (1)$$

$$b_{k_1 k_2} = \begin{cases} \frac{\sin(\beta_2(k_1 - k_2)) - \sin(\beta_1(k_1 - k_2))}{\pi(k_1 - k_2)}, & k_1 \neq k_2, \\ \frac{\beta_2 - \beta_1}{\pi}, & k_1 = k_2. \end{cases} \quad (2)$$

где: $0 \leq \alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2 \leq \pi$.

Значения α_1, α_2 и β_1, β_2 , определяют границы частотного субинтервала изображения (рисунок 1), информация которого, будет точно представлена при разложении по базису собственных векторов Q_A и Q_B определяемых выражениями 3 и 4.

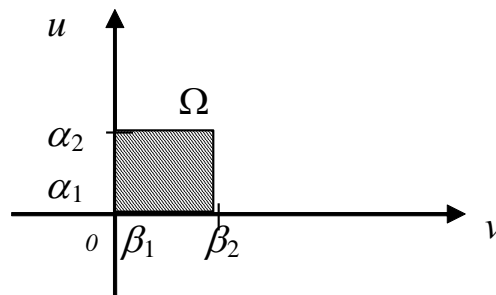


Рисунок 1 – Вид частотного субинтервала Ω

Симметричность матриц A и B позволяет представить их в виде:

$$A = Q_A L_A Q_A^T \quad (3)$$

$$B = Q_B L_B Q_B^T \quad (4)$$

где Q^A, Q^B - матрицы, столбцы которых состоят из собственных векторов

$$Q_A = (\vec{q}_{A1}, \vec{q}_{A2}, \dots, \vec{q}_{AM})$$

$$Q_B = (\vec{q}_{B1}, \vec{q}_{B2}, \dots, \vec{q}_{BN})$$

L^A, L^B - матрицы, диагонали которых, состоят из собственных чисел матриц A и B , упорядоченных по убыванию.

$$L_A = \text{diag}(\lambda_1^A, \lambda_2^A, \dots, \lambda_M^A)$$

$$L_B = \text{diag}(\lambda_1^B, \lambda_2^B, \dots, \lambda_N^B)$$

Ввиду ортогональности матриц A и B , справедливо выражение:

$$F = Q_A Q_A^T F Q_B Q_B^T \quad (5)$$

$$W = Q_A^T F Q_B$$

Матрицу W , именуем субполосным представлением изображения F на субполосные матрицы A и B , которое согласно выражению 5, позволяет его восстановить.

В вопросе сжатия изображений, ключевым свойством является возможность точно восстановить изображение F_Ω несущее в себе информацию соответствующего частотного интервала $\Omega = (0:\pi/m, 0:\pi/n)$, по усеченному набору собственных векторов, соответствующих ненулевым собственным числам. Количество ненулевых чисел J_a и J_b зависит от границ частотного интервала и размерности изображения.

$$J_a = 2 \left\lceil \frac{M}{2m} \right\rceil + 2, \quad J_b = 2 \left\lceil \frac{N}{2n} \right\rceil + 2.$$

Таким образом матрица W_Ω имеет размер J_a на J_b элементов, что, например, для изображения 1000 на 1000 пикселей при интервале $\Omega=(0:\pi/10, 0:\pi/10)$ позволяет получить сжатие в 100 раз без какой либо дополнительной обработки. Далее осуществляется малоразрядное квантование матрицы W_Ω с последующим кодированием кодом Хаффмана. Итоговый коэффициент сжатия определяется согласно выражению 6.

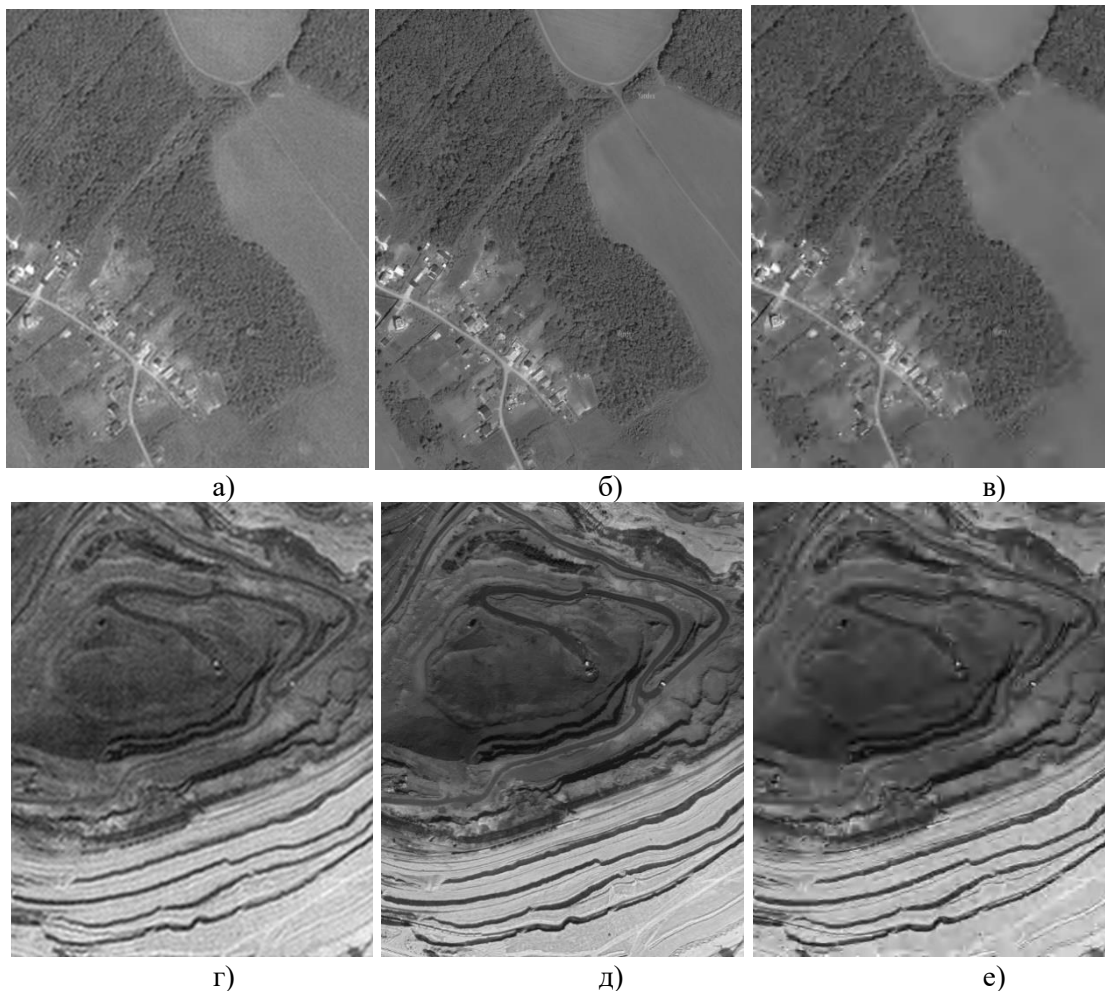
$$K_c = \frac{M \times N \times N_d}{\left(\frac{J_a \times J_b \times N_{kv}}{C_{H1}} \right) + \left(\frac{J_a \times J_b}{C_{H2}} \right)} \quad (6)$$

где: N_d – разрядность исходного изображения,

N_{kv} – количество разрядов квантования,

C_{H1} и C_{H2} – коэффициент сжатия алгоритма Хаффмана для матрицы квантованных коэффициентов W_Ω и знаковой матрицы соответственно.

Далее представлены результаты реализации метода в программной среде MATLAB, на примере монохромных ИЗП разрядностью 8 бит, полученных из открытых источников таких как Yandex Maps и Google Earth. Приведено сравнение результатов сжатия с методом JPEG2000, т.к. для метода JPEG максимальным является степень сжатия в 100 раз при существенных визуальных искажениях.



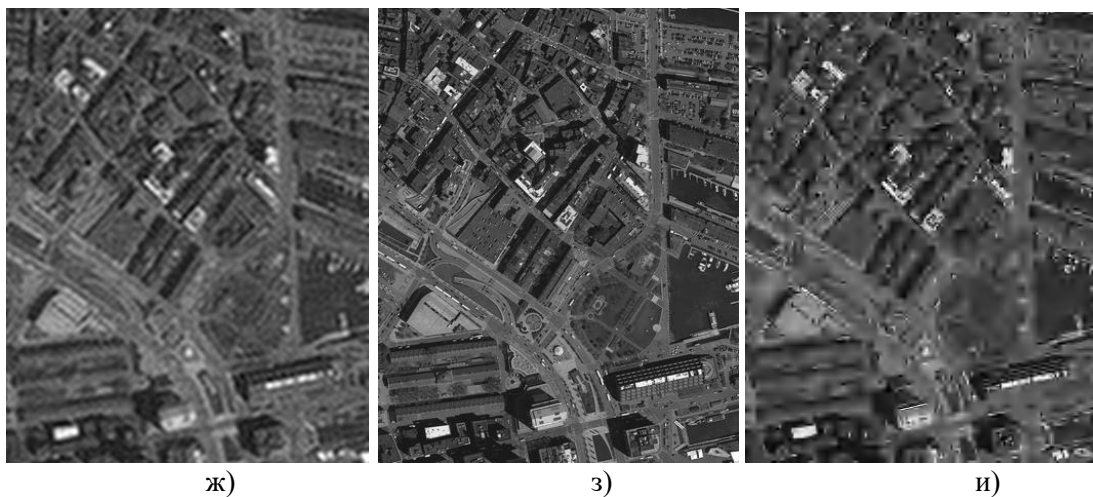
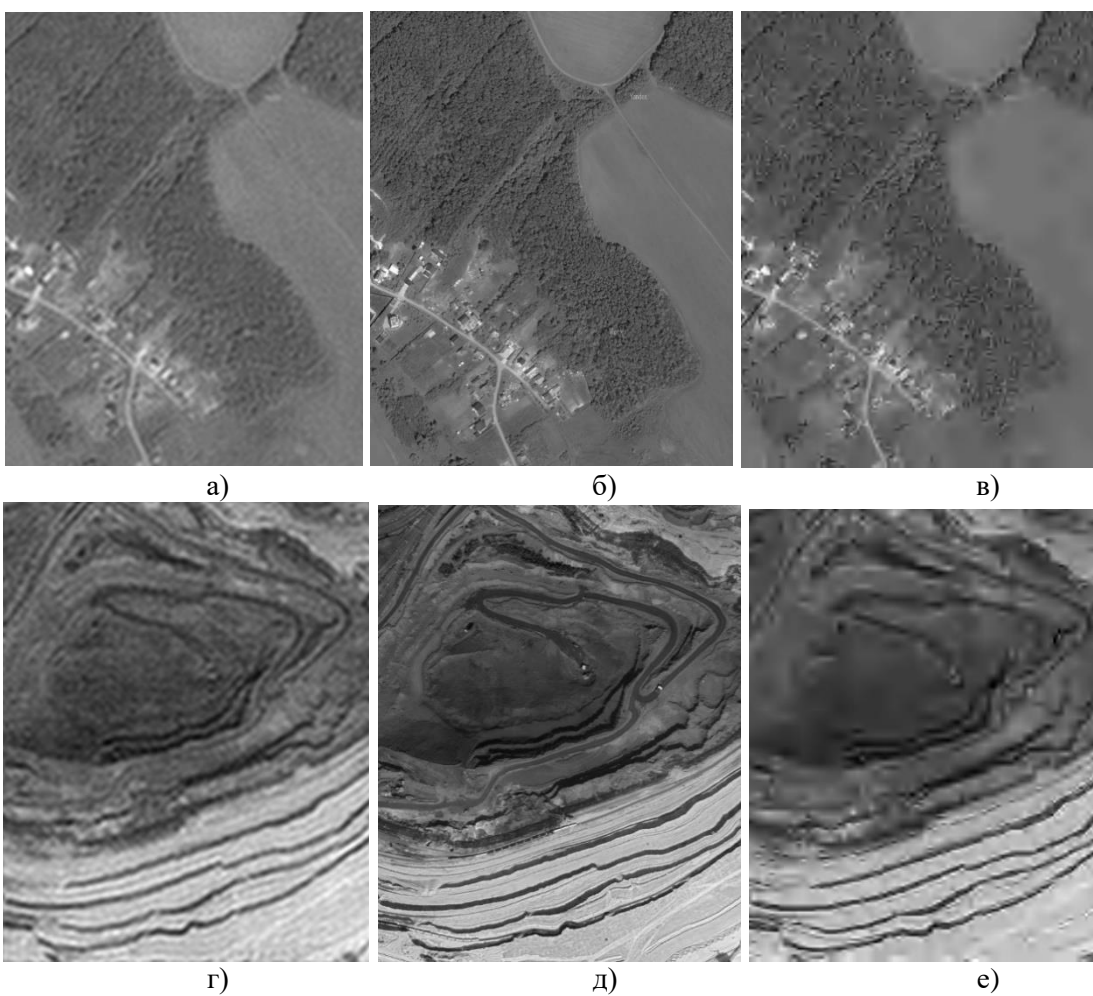


Рисунок 2 – Сравнение результатов сжатия ИЗП
а, г, ж) Субполосный метод $K_s=100$; б, д, з) Исходное изображение; в, е, и) JPEG2000 $K_s=100$



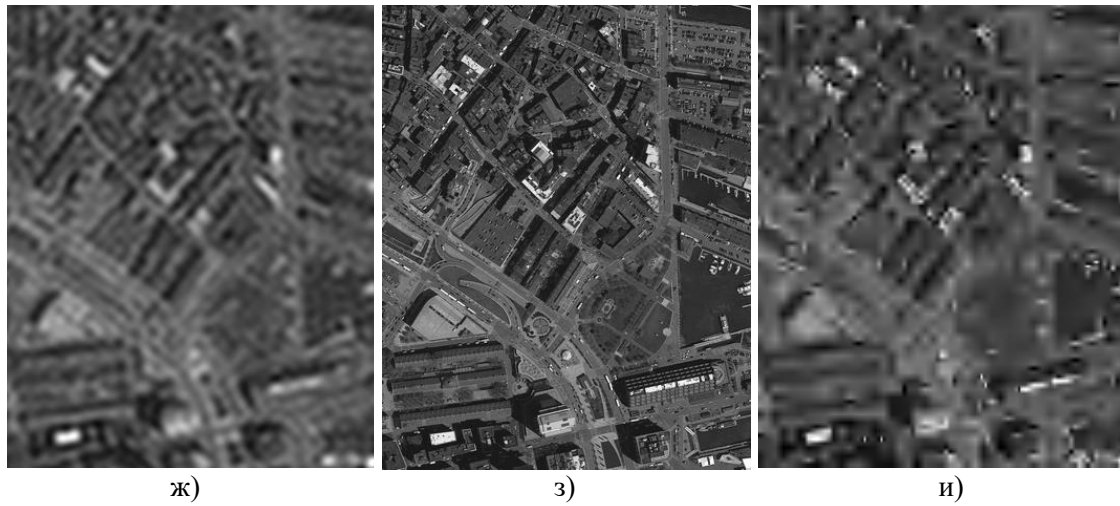


Рисунок 3 – Сравнение результатов сжатия ИЗП
а, г, ж) Субполосный метод $K_s=250$; б, д, з) Исходное изображение; в, е, и) JPEG2000 $K_s=250$

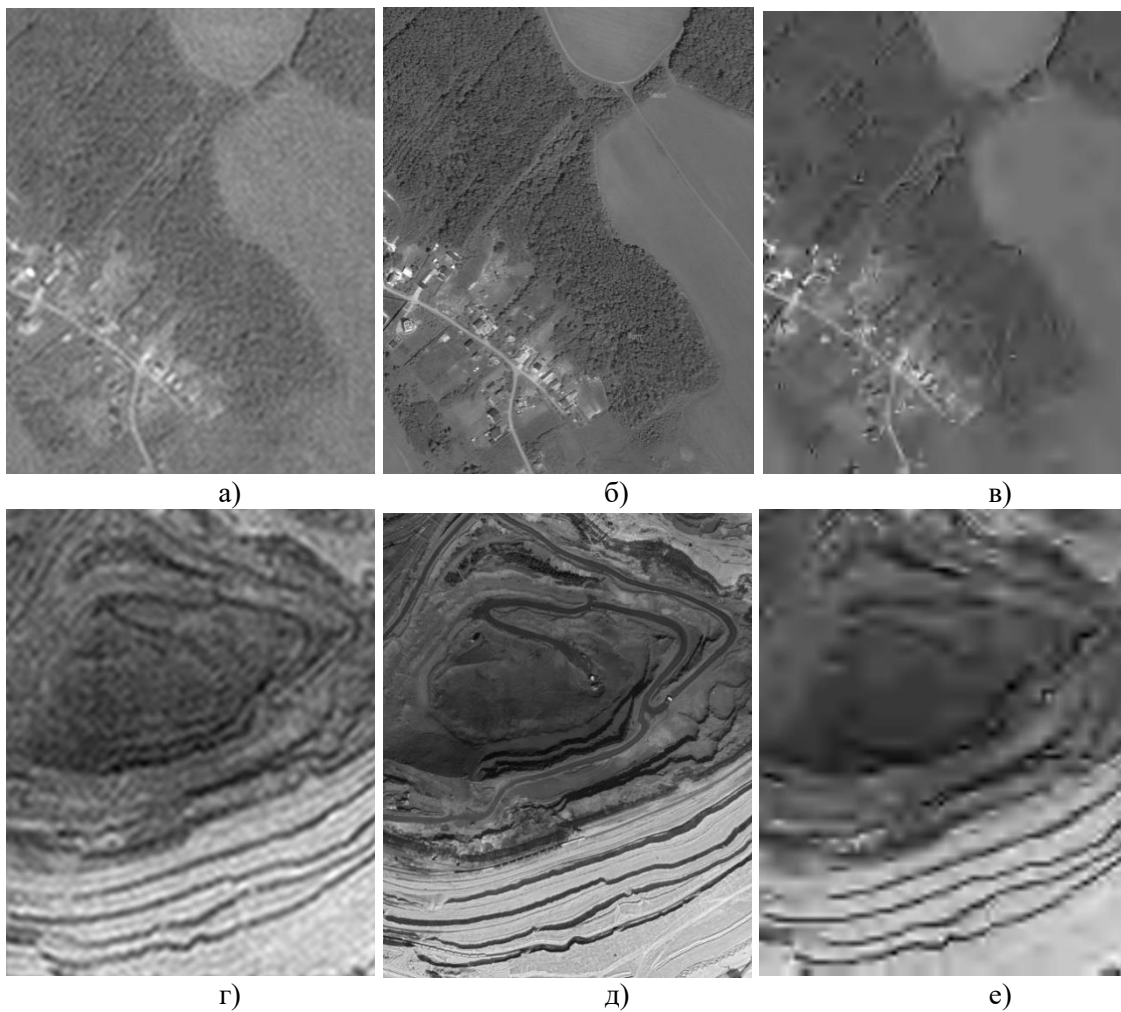




Рисунок 4 – Сравнение результатов сжатия ИЗП
а, г, ж) Субполосный метод $K_c=500$; б, д, з) Исходное изображение; в, е, и) JPEG2000 $K_c=500$

Таким образом, представленный в работе метод преобразования визуальной информации, реализующий уменьшение битовых представлений изображений земной поверхности позволяет достигать значительных степеней сжатия, до 1000 раз и более с сохранением узнаваемости изображений. Демонстрирует схожее отображение визуальной информации ИЗП при степенях сжатия до 100 раз, и превосходит в качестве сохраняемой информации при степенях сжатия 100 и более.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гонсалес, Р., Вудс Р. 2012. Цифровая обработка изображений. Издание 3-у, исправленное и дополненное. Пер. с англ. М.: Техносфера, 1104.
2. Гонсалес, Р., Вудс Р., Эддинс С. 2006. Цифровая обработка изображений в среде Matlab. Пер. с англ. М.: Техносфера, 616.
3. Дворкович В.П., Дворкович А.В., Цифровые видеоинформационные системы (теория и практика) М.: Техносфера, 2012, с. 1008.
4. Жилияков Е.Г., Черноморец А.А., Вариационные алгоритмы анализа и обработки изображений на основе частотных представлений Белгород: Изд-во ГиК, 2009, с. 146
5. Сжатие цифровых изображений. / Евсютин, О.О., [и др.] – М.: Горячая линия – Телеком, 2013. – 124 с.: ил.

Жилияков Евгений Георгиевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
д.т.н., профессор, профессор кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий
Тел.: +7 (4722) 30-13-00 * 21-74
E-mail: zhilyakov@bsu.edu.ru

Лубков Илья Игоревич

ООО «Технопроект», г. Белгород
директор
Тел.: +7 951 763-05-96
E-mail: ii.lubkov@yandex.ru

УДК 621.397

Е.Г. ЖИЛЯКОВ, Д.А. ЧЕРНОМОРЕЦ, Е.В. БОЛГОВА, А.А. ЧЕРНОМОРЕЦ
E.G. ZHILYAKOV, D.A. CHERNOMORETS, E.V. BOLGOVA, A.A. CHERNOMORETS**ОБ ОБНАРУЖЕНИИ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ НА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ ПРИЗНАКОВ ОТЛИЧИЙ СВОЙСТВ ЕЁ МАЛЫХ ФРАГМЕНТОВ В ЛОКАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ****ON THE DETECTION OF SMALL-SIZED OBJECTS ON THE SEA SURFACE BASED ON THE DIFFERENCES SIGNS IN THE PROPERTIES OF ITS SMALL FRAGMENTS IN THE LOCAL AREA**

В работе предложен метод вычисления признаков локального отличия фрагментов изображений морской поверхности при применении различных статистических характеристик: среднее арифметическое, среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации, медиана. На основании результатов проведенных вычислительных экспериментов с модельными объектами показано, что значения признаков локального отличия фрагментов могут быть применены для решения задачи обнаружения посторонних для морской поверхности объектов.

Ключевые слова: изображение морской поверхности, фрагмент изображения, признак локального отличия, обнаружение объектов, модельный объект

In the paper we propose a method for calculating the local difference signs of the sea surface images fragments using various statistical characteristics: arithmetic mean, standard deviation, variation coefficient, median. Based on the results of computational experiments using model objects, it is shown that the values of the fragments local difference signs can be used to solve the problem of detecting extraneous objects for the sea surface.

Keywords: sea surface image, image fragment, local difference sign, object detection, model object

Методы обнаружения посторонних объектов на морской поверхности является важным компонентом информационных систем обеспечения безопасного движения судов [1, 2]. В настоящее время известно значительное количество различных методов обнаружения объектов [3-8]. Однако большинство существующих методов обнаружения объектов ориентированы на обработку последовательности кадров видеозаписи морской поверхности, а также, в основном, на обнаружение объектов достаточно значительных размеров.

В данной работе предложен подход обнаружения посторонних малоразмерных объектов на отдельном изображении взволнованной морской поверхности на основе признака локального отличия статистических характеристик заданных фрагментов анализируемого изображения по сравнению со статистическими характеристиками их «соседних» фрагментов.

Сформулируем понятие признака локального отличия заданного фрагмента изображения от соседних фрагментов.

Представим анализируемое изображение в виде матрицы I , размерности $N_1 \times N_2$, значений его пикселей.

Обозначим, $F_0 = (f_{ij}^{(0)})$, $i = 1, 2, \dots, M_1$, $j = 1, 2, \dots, M_2$, – анализируемый (центральный) фрагмент, размерности $M_1 \times M_2$ пикселей, полюс которого расположен на исходном изображении I в пикселе с индексами (n_1, n_2) , $n_1 = 1, 2, \dots, N_1$, $n_2 = 1, 2, \dots, N_2$. Полюсом фрагмента в данной работе предлагается считать пиксель, расположенный в центре данного фрагмента.

Соседними фрагментами $F_k = (f_{ij}^{(k)})$, $i = 1, 2, \dots, M_1$, $j = 1, 2, \dots, M_2$, $k = 1, 2, \dots, N_s$, изображения для данного фрагмента назовем N_s фрагментов (в данном исследовании $N_s = 8$), анало-

гичной размерности $M_1 \times M_2$ пикселей, которые расположены относительно фрагмента F_0 так как показано на рисунке 1.

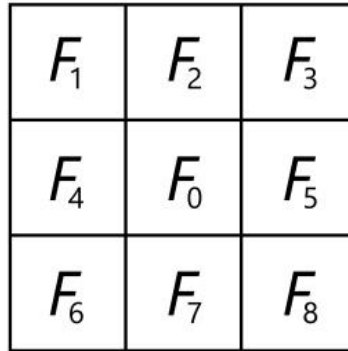


Рисунок 1 – Анализируемый фрагмент F_0 и соседние фрагменты F_k , $k = 1, 2, \dots, N_s$

В качестве статистической характеристики, на основании которой оценивается значение признака локального отличия центрального фрагмента от соседних фрагментов, в работе предлагается применять одну из следующих статистических характеристик:

- среднее арифметическое значений пикселей фрагментов,

$$a_k = \sum_{i=1}^{M_1} \sum_{j=1}^{M_2} f_{ij}^{(k)} / (M_1 M_2), \quad k = 0, 1, \dots, N_s, \quad (1)$$

- среднее квадратическое отклонение значений пикселей фрагментов,

$$\sigma_k = \sqrt{\sum_{i=1}^{M_1} \sum_{j=1}^{M_2} (f_{ij}^{(k)})^2 / (M_1 M_2) - a_k^2}, \quad k = 0, 1, \dots, N_s, \quad (2)$$

- коэффициент вариации значений пикселей фрагментов,

$$Cv_k = \sigma_k / a_k, \quad k = 0, 1, \dots, N_s, \quad (3)$$

- медиана m_k , $k = 0, 1, \dots, N_s$, значений пикселей фрагментов,

$$m_k = \text{median}(F_k), \quad k = 0, 1, \dots, N_s, \quad (4)$$

где $\text{median}(F_k)$ – функция вычисления медианного значения пикселей фрагмента F_k и др.

Обозначим, g_0^F – значение одной из приведенных выше статистических характеристик (1-4) для анализируемого (центрального) фрагмента F_0 ; g_k , $k = 0, 1, \dots, N_s$, – значения той же статистической характеристики для соседних фрагментов F_k , $k = 1, 2, \dots, N_s$.

Признаком локального отличия $G_{n_1 n_2}^F$ заданного фрагмента F_0 , полюс которого расположен на изображении в пикселе с индексами (n_1, n_2) , $n_1 = 1, 2, \dots, N_1$, $n_2 = 1, 2, \dots, N_2$,

$$F_{0n_1 n_2} = (f_{ij}^{(0)}), \quad n_1 = 1, 2, \dots, N_1, \quad n_2 = 1, 2, \dots, N_2, \quad i = 1, 2, \dots, M_1, \quad j = 1, 2, \dots, M_2, \quad (5)$$

от соседних фрагментов предлагается считать величину, полученную на основании следующего соотношения:

$$G_{n_1 n_2}^F = \frac{1}{N_s} \sqrt{\sum_{k=1}^{N_s} (g_k - g_0^F)^2}, \quad n_1 = 1, 2, \dots, N_1, \quad n_2 = 1, 2, \dots, N_2. \quad (6)$$

В данной статье для оценивания возможности применения значений признака локального отличия (6) фрагмента изображения от соседних фрагментов для обнаружения малоразмерных объектов на взволнованной морской поверхности проведены следующие вычислительные эксперименты.

Для проведения вычислительных экспериментов на анализируемом изображении И1 (изображение получено из открытых источников Интернет) задана область обучения (рисунок 2), содержащая $N_F = 1000$ различных центральных фрагментов размерности 4×4 пикселей ($M_1 \times M_2$).



Рисунок 2 – Область обучения на изображении И1

В области обучения затем для каждого фрагмента F_{0n} , $n = 1, 2, \dots, N_F$, (N_F – количество фрагментов, анализируемых в области обучения), размерности $M_1 \times M_2$ пикселей, вычислены различные статистические характеристики g_{0n}^F , а также соответствующие значения g_k , $k = 0, 1, \dots, N_S$, тех же статистических характеристик для соседних фрагментов и значения соответствующего признака локального отличия G_n^F ,

$$G_n^F = \frac{1}{N_S} \sqrt{\sum_{k=1}^{N_S} (g_k - g_{0n}^F)^2}, \quad n = 1, 2, \dots, N_F. \quad (7)$$

При выборе каждого центрального фрагмента F_{0n} , $n = 1, 2, \dots, N_F$, также созданы модельные объекты $B_n = (b_{ijn})$, $i = 1, 2, \dots, M_1$, $j = 1, 2, \dots, M_2$, $n = 1, 2, \dots, N_F$, размерности $M_1 \times M_2$ пикселей, элементы которых вычислены на основании следующих соотношений:

$$b_{ijn} = k_a a_M + k_\sigma \sigma_M \varepsilon_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, M_1, \quad j = 1, 2, \dots, M_2, \quad n = 1, 2, \dots, N_F, \quad (8)$$

где ε_{ij} , $i = 1, 2, \dots, M_1$, $j = 1, 2, \dots, M_2$, – нормально распределенная случайная величина с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией, a_M , σ_M – среднее арифметическое и среднеквадратическое отклонение значений пикселей области обучения, k_a , k_σ – коэффициенты, применяемые в модели объекта для изменения значений среднего арифметического и среднеквадратического отклонения значений пикселей модельного объекта относительно значений a_M , σ_M области обучения. Значения коэффициентов k_a , k_σ выбирались таким образом, чтобы выполнялось следующее соотношение:

$$3k_\sigma \sigma_M < k_a a_M,$$

в этом случае вероятность отрицательных значений пикселей модельного объекта ничтожно мала.

Отметим, что в заданной на рисунке 2 области обучения, величины a_M , σ_M имеют следующие значения:

$$a_M = 0,5567, \quad \sigma_M = 0,0267.$$

Для модельных объектов B_n , $n = 1, 2, \dots, N_F$, вида (8) вычислены признаки локального отличия G_n^B относительно фрагментов, которые являются «соседними» для соответствующего центрального F_{0n} , $n = 1, 2, \dots, N_F$,

$$G_n^B = \frac{1}{N_S} \sqrt{\sum_{k=1}^{N_S} (g_k - g_n^B)^2}, \quad n = 1, 2, \dots, N_F, \quad (9)$$

где g_n^B – значение заданной статистической характеристики модельного объекта B_n .

На основании множеств $\{G_n^F\}$ (7) и $\{G_n^B\}$ (9), $n = 1, 2, \dots, N_F$, значений признаков локального отличия центральных фрагментов в области обучения и модельных объектов от соответствующих соседних фрагментов вычислены максимальное и минимальное значения:

$$G_{\max}^F = \max_{n=1, 2, \dots, N_F} G_n^F, \quad (10)$$

$$G_{\min}^B = \min_{n=1, 2, \dots, N_F} G_n^B, \quad (11)$$

В данной работе для оценивания работоспособности похода к решению задачи обнаружения малоразмерных объектов на взволнованной морской поверхности на основе анализа значений признака локального отличия (6) фрагмента изображения от соседних фрагментов сформулирована нулевая проверяемая гипотеза, в которой предполагается, что пиксели анализируемого фрагмента изображения не содержат пиксели посторонних для морской поверхности предметов.

Оценку вероятности ошибок первого рода P_1 предлагается вычислить как отношение количества N_{p1} значений признака локального отличия $\{G_n^F\}$ (7), которые больше минимального значения G_{\min}^B (11), к объему выборки N_F :

$$G_i^F > G_{\min}^B, \quad i = 1, 2, \dots, N_{p1},$$

$$P_1 = N_{p1} / N_F. \quad (12)$$

Оценка вероятности ошибок второго рода P_2 в проведенных в данной работе вычислительных экспериментах принята равной $1 / N_F$,

$$P_2 = 1 / N_F,$$

что соответствует случаю, когда граница критической области определяется минимальным значением G_{\min}^B (11).

В ходе проведения вычислительных экспериментов вычисление величин (11), (12) при анализе N_F центральных фрагментов выполнялось по $N_{\text{exp}} = 100$ раз при заданных значениях коэффициентов k_a , k_σ и других параметрах вычислений. Обобщающая величина $\overline{G_{\min}^B}$ значений признаков локального отличия модельных объектов от соответствующих соседних фрагментов в области обучения, полученная на основании величин $G_{\min, n}^B$ вида (11), $n = 1, 2, \dots, N_{\text{exp}}$, при проведении N_{exp} вычислительных экспериментов при заданных значениях параметров, вычислена, используя следующее соотношение:

$$\overline{G_{\min}^B} = \min_{n=1, 2, \dots, N_{\text{exp}}} G_{\min, n}^B. \quad (13)$$

Обобщающая величина $\overline{P_1}$ оценки вероятности ошибок первого рода, полученные на основании величин $P_{1, n}$ вида (12), $n = 1, 2, \dots, N_{\text{exp}}$, при проведении N_{exp} вычислительных экспериментов при заданных значениях параметров, вычислена, используя следующее соотношение:

$$\overline{P_1} = \max_{n=1, 2, \dots, N_{\text{exp}}} P_{1, n}. \quad (14)$$

В таблице 1 для всевозможных положений в области обучения (рисунок 2) центрального фрагмента, размерностью 4×4 пикселей, а также соответствующих модельных объектов приведены экстремальные (10) и обобщающие значения признаков локального отличия (13), оценок вероятностей ошибок первого рода (14), соответствующие оценке вероятностей ошибок второго рода для значения коэффициента $k_\sigma = 1$ (пиксели модельных объектов имеют постоянное среднее квадратиче-

ское отклонение σ_M) при применении различных статистических характеристик (1-4) и различных значениях коэффициента k_a , влияющего на изменение значений среднего арифметического модельных объектов. При заданных параметрах проведено по 100 вычислительных экспериментов.

Таблица 1 – Значения признаков локального отличия, оценки вероятностей ошибок первого и второго рода при постоянном среднеквадратическом отклонении пикселей модельных объектов σ_M ($k_\sigma=1$, размерность фрагментов 4×4)

Показатель \ Статистическая характеристика	Среднее арифметическое, a	Среднеквадратическое отклонение, σ	Коэффициент вариации, C_v	Медиана, m
Максимум G_{\max}^F	1,544E-02	1,147E-02	2,205E-02	1,533E-02
Оценки P_2	0,001	0,001	0,001	0,001
Минимум \bar{G}_{\min}^B ($k_a=1$)	1,217E-03	1,078E-03	1,957E-03	6,883E-04
Оценки \bar{P}_1 ($k_a=1$)	0,999	0,999	0,999	0,999
Минимум \bar{G}_{\min}^B ($k_a=0,95$)	3,266E-03	1,078E-03	2,181E-03	2,080E-03
Оценки \bar{P}_1 ($k_a=0,95$)	0,883	0,999	0,994	0,997
Минимум \bar{G}_{\min}^B ($k_a=0,9$)	1,021E-02	1,078E-03	2,222E-03	8,990E-03
Оценки \bar{P}_1 ($k_a=0,9$)	0,034	0,999	0,994	0,09
Минимум \bar{G}_{\min}^B ($k_a=0,85$)	1,978E-02	1,078E-03	2,195E-03	1,836E-02
Оценки \bar{P}_1 ($k_a=0,85$)	0,001	0,999	0,994	0,001
Минимум \bar{G}_{\min}^B ($k_a=1,05$)	1,211E-03	1,078E-03	1,870E-03	1,330E-03
Оценки \bar{P}_1 ($k_a=1,05$)	0,999	0,999	0,999	0,998
Минимум \bar{G}_{\min}^B ($k_a=1,1$)	5,275E-03	1,078E-03	1,901E-03	3,992E-03
Оценки \bar{P}_1 ($k_a=1,1$)	0,449	0,999	0,999	0,801
Минимум \bar{G}_{\min}^B ($k_a=1,15$)	1,289E-02	1,078E-03	1,893E-03	1,183E-02
Оценки \bar{P}_1 ($k_a=1,15$)	0,012	0,999	0,999	0,025
Минимум \bar{G}_{\min}^B ($k_a=1,2$)	2,220E-02	1,078E-03	1,871E-03	2,071E-02
Оценки \bar{P}_1 ($k_a=1,2$)	0,001	0,999	0,999	0,001

Результаты, приведенные в таблице 1, показывают, что при незначительных изменениях среднего значения пикселей модельных объектов от среднего значения пикселей области обучения оценка вероятности ошибки первого рода имеет минимальное значение 0,001 (вычислена на основании анализа 1000 фрагментов) при оценке вероятности ошибки второго рода равной 0,001 при применении статистических характеристик «среднее арифметическое» и «медиана».

В таблице 2 для всевозможных положений в области обучения (рисунок 2) центрального фрагмента, размерностью 4×4 пикселей, а также соответствующих модельных объектов приведены экстремальные (10) и обобщающие значения признаков локального отличия (13), оценок вероятностей ошибок первого рода (14), соответствующие оценке вероятностей ошибок второго рода для значения коэффициента $k_a=1$ (пиксели модельных объектов имеют постоянное среднеарифметическое значение a_M) при применении различных статистических характеристик (1-4) и различных значениях коэффициента k_σ , влияющего на изменение значения среднеквадратического отклонения модельных объектов. При заданных параметрах проведено по 100 вычислительных экспериментов.

Результаты, приведенные в таблице 2, показывают, что при увеличении в 5-6 раз значения среднеквадратического отклонения пикселей модельных объектов от значения среднеквадратического отклонения пикселей области обучения оценка вероятности ошибки первого рода имеет минимальное значение 0,001 (вычислена на основании анализа 1000 фрагментов) при оценке вероятности ошибки второго рода равной 0,001 при применении статистических характеристик «среднеквадратического отклонения» и «коэффициент вариации».

Таблица 2 – Значения признаков локального отличия, оценки вероятностей ошибок первого и второго рода при постоянном среднеарифметическом значении пикселей модельных объектов a_M ($k_a=1$, размерность фрагментов 4×4)

Показатель \ Статистическая характеристика	Среднее арифметическое, a	Среднеквадратическое отклонение, σ	Коэффициент вариации, C_v	Медиана, m
Максимум G_{\max}^F	1,544E-02	1,147E-02	2,205E-02	1,533E-02
Оценки P_2	0,001	0,001	0,001	0,001
Минимум \overline{G}_{\min}^B ($k_\sigma=0,0001$)	1,895E-03	2,846E-03	5,155E-03	1,121E-03
Оценки \overline{P}_1 ($k_\sigma=0,0001$)	0,994	0,637	0,622	0,999
Минимум \overline{G}_{\min}^B ($k_\sigma=4,5$)	1,256E-03	8,122E-03	1,344E-02	1,031E-03
Оценки \overline{P}_1 ($k_\sigma=4,5$)	0,999	0,01	0,017	0,999
Минимум \overline{G}_{\min}^B ($k_\sigma=5$)	1,223E-03	9,650E-03	1,585E-02	1,028E-03
Оценки \overline{P}_1 ($k_\sigma=5$)	0,999	0,004	0,009	0,999
Минимум \overline{G}_{\min}^B ($k_\sigma=5,5$)	1,310E-03	1,124E-02	1,835E-02	1,061E-03
Оценки \overline{P}_1 ($k_\sigma=5,5$)	0,999	0,001	0,004	0,999
Минимум \overline{G}_{\min}^B ($k_\sigma=6$)	1,383E-03	1,286E-02	2,090E-02	1,125E-03
Оценки \overline{P}_1 ($k_\sigma=6$)	0,999	0,001	0,001	0,999

Соответствующие вычислительные эксперименты были проведены при других значениях коэффициентов k_a , k_σ , которые также показали, что при наличии отличий среднеарифметического и среднеквадратического отклонения значений пикселей модельных объектов от соответствующих статистических характеристик пикселей области обучения, применение признака локального отличия позволяет выделять фрагменты, содержащие посторонние для морской поверхности объекты.

На рисунке 3 приведены примеры использованных при вычислениях для таблицы 1 модельных объектов, которые образованы при различных среднеарифметическом и среднеквадратическом отклонении значений пикселей модельного объекта (данные значения изменялись на основе различных коэффициентов k_a при $k_\sigma=1$). На рисунке 3 модельные объекты размещены в левом верхнем углу области обучения.

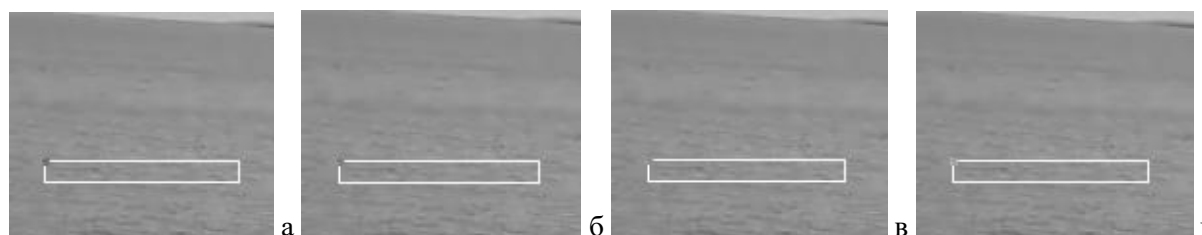


Рисунок 3 – Примеры модельных объектов 4×4 (в левом верхнем углу области обучения) при $k_\sigma=1$: а – при $k_a=0,85$, б – при $k_a=0,95$, в – при $k_a=1,05$, г – при $k_a=1,2$

На рисунке 4 приведены примеры использованных при вычислениях для таблицы 2 модельных объектов, которые образованы при различных среднеарифметическом и среднеквадратическом отклонении значений пикселей модельного объекта (данные значения изменялись на основе различных коэффициентов k_σ при $k_a=1$). На рисунке 4 модельные объекты размещены в левом верхнем углу области обучения.

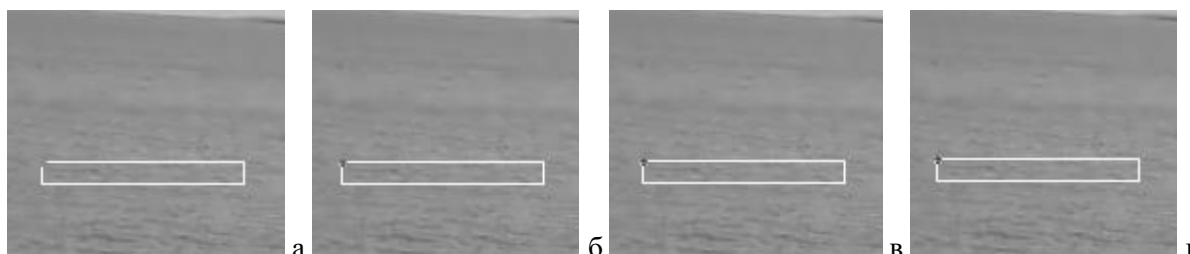


Рисунок 4 – Примеры модельных объектов 4×4 (в левом верхнем углу области обучения) при $k_a=1$: а – при $k_\sigma=0,0001$, б – при $k_\sigma=4,5$, в – при $k_\sigma=5,5$, г – при $k_\sigma=6$

На рисунке 5 приведены примеры графиков, иллюстрирующих вычисление в таблице 1 оценок вероятностей ошибок первого и второго рода; на рисунке приведены графики значений признаков локального отличия для статистической характеристики «среднеарифметическое значение» a при $k_\sigma=1$ (размерность фрагментов 4×4) и различных значениях коэффициента k_a для одного из $N_{\text{exp}}=100$ вычислительных экспериментов при заданных параметрах.

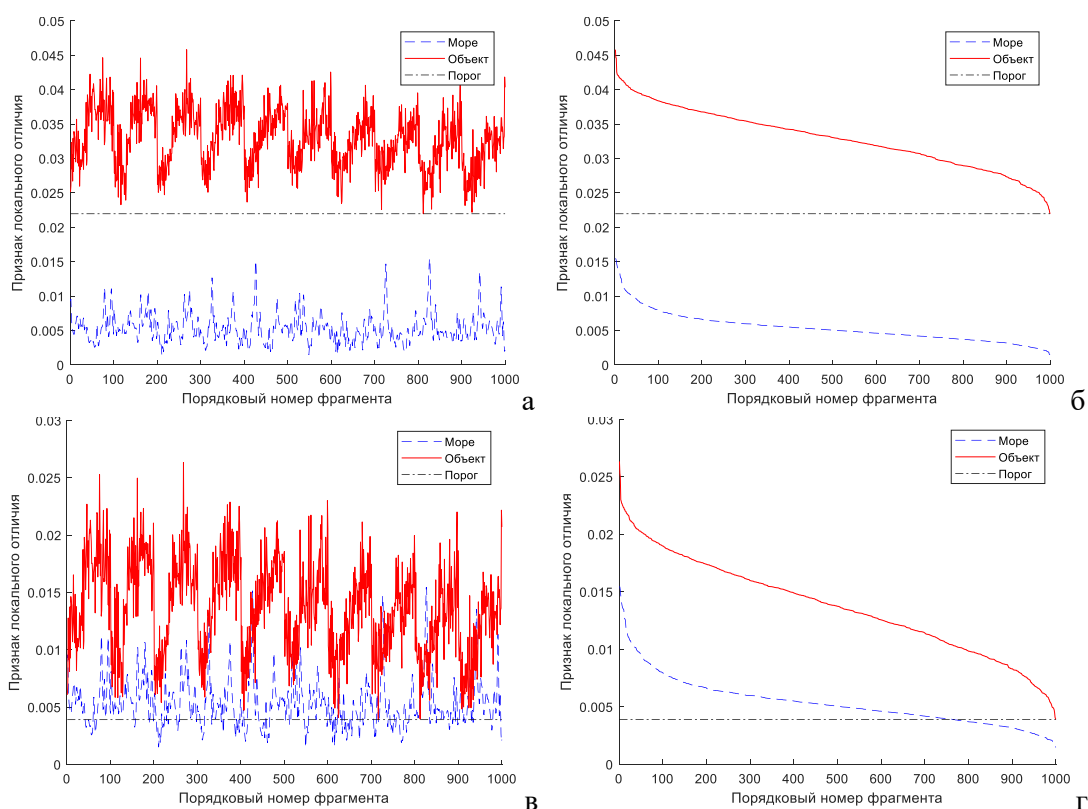


Рисунок 5 – Значения признаков локального отличия для статистической характеристики «среднеарифметическое значение» при $k_\sigma=1$ (размерность фрагментов 4×4): а, б – при $k_a=0,85$ (неупорядоченные и упорядоченные значения),

в, г – при $k_a=0,95$ (неупорядоченные и упорядоченные значения)

Данные, приведенные на рисунках 5б и 5г, показывают, что в соответствующих вычислительных экспериментах оценки вероятности ошибки первого рода имеют значения 0,001 и 0,77.

На рисунке 6 приведены примеры графиков, иллюстрирующих вычисление в таблице 2 оценок вероятностей ошибок первого и второго рода; на рисунке приведены графики значений признаков локального отличия для статистической характеристики «среднеквадратическое отклонение» σ при $k_a=1$ (размерность фрагментов 4×4) и различных значениях коэффициента k_σ для одного из $N_{\text{exp}}=100$ вычислительных экспериментов при заданных параметрах.

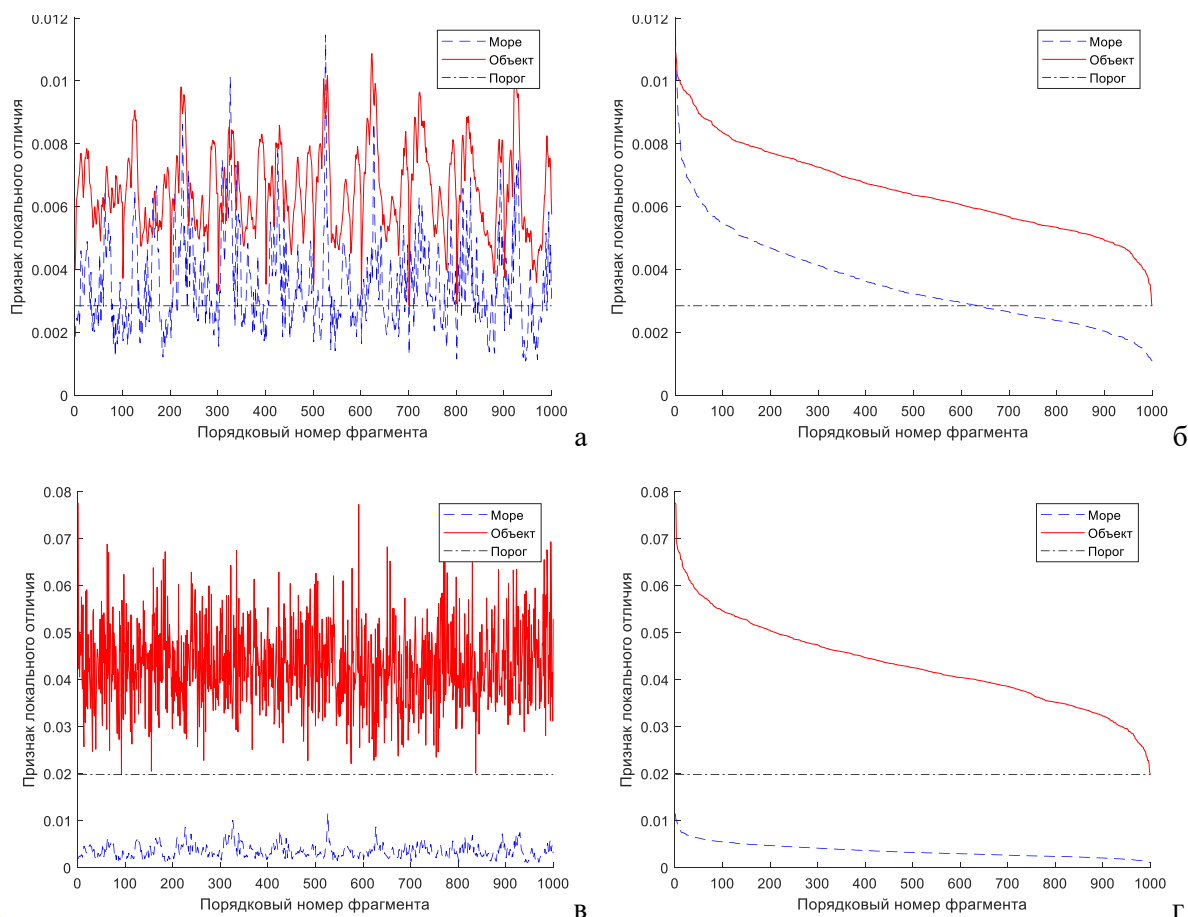


Рисунок 6 – Значения признаков локального отличия для статистической характеристики «среднеквадратическое отклонение» при $k_a=1$ (размерность фрагментов 4×4):

а, б – при $k_\sigma=0,0001$ (неупорядоченные и упорядоченные значения),

в, г – при $k_\sigma=5,5$ (неупорядоченные и упорядоченные значения)

Данные, приведенные на рисунках 6б и 6г, показывают, что в соответствующих вычислительных экспериментах оценки вероятности ошибки первого рода имеют значения 0,64 и 0,001.

Данные, приведенные на рисунках 5а, 5в, 6а и 6в, показывают, что значения признаков локального отличия для модельных объектов в большинстве случаев превышают соответствующие значения признаков локального отличия для центральных фрагментов, содержащих пиксели морской поверхности в области обучения; данный факт показывает, что значения признаков локального отличия позволяют решать задачу обнаружения посторонних объектов на морской поверхности.

Таким образом, в работе предложен метод вычисления признаков локального отличия фрагментов изображений морской поверхности при применении различных статистических характеристик: среднее арифметическое, среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации, медиана. На основании результатов проведенных вычислительных экспериментов с модельными объектами получены оценки вероятности ошибок первого и второго рода при проверке статистической гипотезы, в которой предполагается, что пиксели анализируемого фрагмента не содержат пиксели посторонних для морской поверхности предметов. Показано, что значения признаков локального отличия фрагментов могут быть применены для решения задачи обнаружения посторонних для морской поверхности объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковальчук В.В., Бурзун М.С. Информационное обеспечение морских навигационных систем // Техника. Технологии. Инженерия. 2020. № 1(15). С.23-26.
2. Вагущенко, Л. Л. Современные информационные технологии в судовождении / Л. Л. Вагущенко. Одесса: ОНМА, 2013. – 135 с.
3. Жилияков Е.Г., Черноморец Д.А. Об информативности субполосного анализа потока изображений при обнаружении объектов // В сборнике: Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП-2020). Сборник материалов VIII Международной научно-технической конференции. Белгород, 2020. С. 65-68.
4. Погожева М.П., Якушев Е.В., Терский П.Н., Глазов Д.М., Коршенко А.Н., Ханке Г. Методики мониторинга плавающего морского мусора (на примере Баренцева моря) // В сборнике: Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2021). Материалы XVII Всероссийской научно-технической конференции. Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН. 2021. С. 180-183.
5. Ursol D.V., Chernomorets D.A., Bolgova E.V., Chernomorets A.A. Objects Detection Based On The Sea Surface Video Fragments Cross-Correlation // Research Result. Information Technologies. 2022. Т. 7. № 2. С. 19-27.
6. Федосов А.Н., Володин А.Н. Моделирование принятия решения в системах обеспечивающих обнаружения объектов на фоне взволнованной морской поверхности // В сборнике: Интеллектуальные системы, управление и мехатроника - 2017. Материалы III Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Научный редактор А.Т. Барабанов. 2017. С. 325-332.
7. Тупиков В.А., Павлова В.А., Александров В.А., Бондаренко В.А. Способ автоматического обнаружения объектов на морской поверхности в видимом диапазоне // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2016. № 11-3. С. 105-121.
8. Скороход Б.А., Стаценко А.В., Фатеев С.И. Автоматическое обнаружение и автосопровождение объектов на морской поверхности при сложном фоне с помощью видеокамеры // В сборнике: Интеллектуальные системы, управление и мехатроника - 2017. Материалы III Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Научный редактор А.Т. Барабанов. 2017. С. 152-156.

Жилияков Евгений Георгиевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий
E-mail: zhilyakov@bsu.edu.ru
Тел. (4722) 301300*2174

Черноморец Дарья Андреевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Аспирант кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий
Тел. (4722) 301300*2175
E-mail: chernomorets_d@bsu.edu.ru

Болгова Евгения Витальевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий
E-mail: bolgova_e@bsu.edu.ru
Тел. (4722) 301300*2166

Черноморец Андрей Алексеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий
E-mail: chernomorets@bsu.edu.ru
Тел. (4722) 301300*2166

УДК 004.03

Е.В. ИГИТЯН, К.А. ПОЛЬЩИКОВ, Е.В. ИЛЬИНСКАЯ
E.V. IGITYAN, K. A. POLSHCHUKOV, E.V. ILINSKAYA

ОБЗОР СРЕДСТВ ОЦЕНИВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДИАЛОГОВЫХ СИСТЕМ

OVERVIEW OF TOOLS FOR EVALUATING THE CHARACTERISTICS OF DIALOG SYSTEMS

В данной статье авторы освещают проблему отсутствия адекватных средств оценки качества диалоговых систем, которые бы удовлетворяли общепризнанные методы, модели, метрики, т.е. количественных показателей, на основе которых можно было бы сравнить эффективность имеющихся систем, обосновать выбор подходящих для тех или иных целей виртуальных ассистентов, а также объективно выявить их недостатки с целью дальнейшего совершенствования.

Ключевые слова: диалоговые системы, эффективность чат-бот-приложений.

In this article, the authors highlight the problem of the lack of adequate means of assessing the quality of dialog systems that would satisfy generally accepted methods, models, metrics, i.e. quantitative indicators on the basis of which it would be possible to compare the effectiveness of existing systems, justify the choice of suitable virtual assistants for certain purposes, as well as objectively identify their shortcomings in order to further improvements.

Keywords: dialog systems, efficiency of chatbot applications.

В настоящее время диалоговые системы находят широкое применение в различных сферах деятельности, давая возможности повышения удобства взаимодействия с компьютером, сокращения финансовых и временных затрат при выполнении многих прикладных задач. Современные диалоговые системы являются виртуальными помощниками в сферах медицинского сопровождения, банковского обслуживания, обучения иностранным языкам. Большое распространение такие приложения получают благодаря реализации в них речевого интерфейса.

Взаимодействующие с пользователем на естественном языке интеллектуальные диалоговые системы предоставляют услуги заказа и бронирования авиабилетов. Использование клиентами такого сервиса повышает удобство взаимодействия с информационными ресурсами, позволяет существенно сократить время на выполнение требуемого запроса.

Сегодня с помощью диалоговых систем можно не только забронировать авиарейс, вызвать такси, выбрать ресторан, но и повысить производительность обслуживания потока клиентов, предоставить удобный сервис взаимодействия для информирования о конкретном реализуемом продукте. Применение чат-бота с речевым интерфейсом, работающего на основе обработки запроса на естественном языке, помогает пользователю в поиске товаров и услуг. При этом уточнение характеристик товаров или услуг осуществляется в процессе диалога, что позволяет значительно увеличить скорость и эффективность поиска.

Сегодня для оценивания эффективности диалоговых систем используются наборы многих самых различных показателей. Для оценки целеориентированных систем может быть использован «процент диалогов, в которых пользователь достиг своей цели». Другие системы не могут быть оценены с помощью этого показателя, потому что они предназначены для выдачи ответов, соответствующих контексту диалога. В таких случаях оценивание выдаваемых системой ответов может осуществляться с использованием показателя перплексии как обратной вероятности тестового набора, нормализованной по количеству слов. Однако такой подход не всегда позволяет оценить адекватность ответа.

Для оценки эффективности чат-бот-приложений предлагается использовать KPI-метрики, которые используются в бизнес-структурах как показатель деловой активности сотрудников, например, активность, индекс потребительской лояльности и т.п. Кроме того, предлагается использовать стандартные технические показатели программного обеспечения (показатель диалогового потока, показатель качества классификации сообщений, показатель качества извлечения данных из пользовательских

сообщений и др.). В публикациях в числе индикаторов качества чат-ботов представлены показатели количества активных пользователей чат-бота и удовлетворенность пользователей его работой.

Предложим ряд других качественных показателей оценивания чат-ботов:

- соотношение заработной платы сотрудника и стоимости соответствующего чат-бота;
- степень замещения персонала чат-ботом;
- полнота выполнения чат-ботом требуемого функционала;
- распространенность чат-бота, успешное применение в отрасли;
- совместимость программного обеспечения чат-бота с используемыми смежными решениями;
- степень отказоустойчивости чат-бота;
- масштабируемость (перспектива расширения функционала);
- степень соответствия тенденциям развития информационных технологий.

Отметим следующие качественные характеристики виртуальных помощников:

- понимание произвольной речи и команд;
- способность решения нетипичных задач;
- простота установки приложения на требуемой платформе;
- приспособленность к настройке и корректировке работы.

В числе важных качественных показателей, характеризующих диалоговых агентов, называются «не только возможности выполнения конкретных повседневных сценариев пользователя», но и когерентность, т.е. возможность поддержания связного общения, а также консистентность как способность имитировать поведение одного и того же человека, выдавая ответы, согласованные друг с другом по смыслу.

При анализе систем разговорного диалога применяется также метрика для оценки взаимодействия между компьютером и человеком, называемая качеством взаимодействия. При этом для каждого типа диалога мера качества взаимодействия имеет разное значение.

В качестве критериев оценки поддерживаемых виртуальными помощниками диалогов используем максимизацию следующих показателей:

- объем словарного запаса;
- степень разнообразия тем диалогов;
- количество используемых виртуальным помощником эмоций.

Для оценивания ответов, выдаваемых диалоговой системой, могут использоваться стандартные показатели качества классификации (точность, полнота и F1-мера). Так, в статье Юсупова И.Ф. «Диалоговый агент с обучаемым диалоговым менеджером» представлены результаты исследования по оценке качества диалогового менеджера. При этом оценивались отдельно функции генерации вопросов, реферирования, проверки ответа, другие разговорные навыки. Однако авторы работы «Применение глубокого обучения к моделированию диалога на естественном языке» Е.В. Чистова, А.О. Шелманов, И.В. Смирнов утверждают, что применение классических критериев точности, полноты и F1-меры для оценивания моделей диалоговых систем не целесообразно, потому, что вариативность синтезируемых ими последовательностей слов довольно высока.

Метрики точности и полноты применяются для оценивания качества систем вопросно-ответного поиска. В рамках теории информационного поиска для оценивания показателя точности используется следующее выражение:

$$Prec = \frac{tp}{tp + fp}, \quad (1.1)$$

где tp – число найденных поисковой системой релевантных документов; fp – число найденных поисковой системой нерелевантных документов.

Оценивание показателя полноты информационного поиска осуществляется с помощью следующего выражения:

$$Rec = \frac{tp}{tp + fn}, \quad (1)$$

где fn – число не найденных поисковой системой релевантных документов.

Величины, используемые для оценивания характеристик информационного поиска, обозначаются в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 – Обозначения величин, используемых для оценивания характеристик информационного поиска

Число документов	Релевантных	Не релевантных
Найденных	tp	fp
Не найденных	fn	tn

Особенности оценивания характеристик информационного поиска иллюстрируются на рисунке 1.

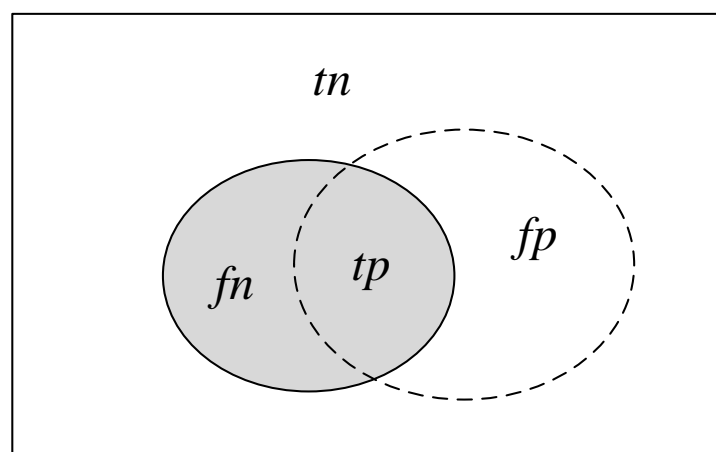


Рисунок 1 – Величины для оценивания характеристик информационного поиска

На рисунке 1 серым цветом обозначено множество релевантных запросу документов, имеющих на информационных ресурсах. Белым цветом окрашено множество не релевантных запросу документов, имеющих на информационных ресурсах. Овал с пунктирной линией соответствует множеству документов, найденных поисковой системой.

Анализ показал, что применение метрик полноты и точности для оценивания характеристик диалоговых систем сопряжено со значительными сложностями. Они связаны с тем, что в рамках оценивания качества информационного поиска вычисление значений этих метрик основано на подсчете конечного числа найденных (не найденных) системой релевантных (нерелевантных) документов. Чтобы применить данные метрики для оценивания характеристик диалоговых систем, потребуется вычислить количество содержащейся в ответе требуемой пользователю информации или другой информации, что весьма проблематично.

В отдельных случаях для оценки эффективности чат-ботов можно использовать метрики, которые были разработаны для оценки качества моделей машинного перевода, например, BLEU и METEOR – показатели различий между компьютерным переводом и эталонным пользовательским переводом. Метрика BLEU, вычисляемая как процентная доля n -грамм, совпадающих в вариантах эталонного и машинного перевода, имеет ряд модификаций. По мнению ряда специалистов, метрики, применяемые для определения качества машинного перевода, не всегда пригодны для оценивания эффективности диалоговых систем. Данная позиция обосновывается тем, что, во-первых, эти метрики слабо коррелируют друг с другом, а во-вторых, «оценивают лишь лексическую гибкость и игнорируют отступление от контекста беседы».

В ряде случаев для оценки качества ответов диалоговых систем выбирается метрика Recall@ k , которая используется для анализа работы ранжирующих чат-ботов и показывает, какая доля релевантных ответов в числе k лучших. По мнению исследователей, «особенностью оценки качества диалога с чат-ботом является субъективность восприятия ответов пользователем, что затрудняет автоматизацию процесса оценки качества». Следуя этому тезису, справедливо считать

допустимым оценивание релевантности ответов вручную, например, с использованием возможностей краудсорсинга.

Субъективное экспертное участие активно применяется при оценке эффективности различных программ обработки естественного языка. Помощь человека-эксперта, например, потребовалась на этапе «отладки алгоритма выявления знаний в HTML-коде электронных учебников и наполнения базы знаний диалоговой системы». Это позволило выявить следующие типы ошибок в работе программного модуля семантической сети: «некорректное восполнение недостающих членов предложения», «неразрешенные отсылки к предыдущему предложению, иногда к более ранним предложениям, выраженные местоимениями и другими частями речи», «некорректная обработка списков, которые могут представлять собой набор однотипных связей или связей различных типов», «некорректное выявление границ предложений генератором семантической сети, в частности из-за попадания точек внутрь тегов, рассматриваемых как единое целое», «предложения построены не по шаблону «подлежащее – сказуемое – вспомогательные члены предложения».

Интеллектуальные и коммуникативные возможности виртуального ассистента должны быть такими, что «человек, общающийся с ним, не сумеет точно установить, с кем он имеет дело, – с другим человеком или автоматом». Этот тезис соответствует представлениям А. Тьюринга, который предсказал возможность программирования работы машин так, что «шансы среднего человека установить присутствие машины через пять минут после того, как он начнет задавать вопросы, не поднимались бы выше 70%». Не случайно, тест Тьюринга был предложен для оценивания диалоговых систем. При этом предполагается использование «бинарного классификатора, играющего роль эксперта в тесте Тьюринга – он классифицирует поступающее высказывание как человеческое или машинное». Однако, по мнению ряда исследователей, такой способ оценки диалоговой системы не приемлем, т.к. он может служить лишь для «разоблачения машины», но не позволяет определить качество выполнения вопросно-ответных функций.

Наиболее естественным и распространенным подходом к оцениванию объектов, систем и их свойств является привлечение к этому процессу экспертов, специалистов в соответствующей предметной области. При этом, конечно же, каждый эксперт, будучи человеком, выдает субъективный результат. В целях повышения объективности получаемых результатов вполне оправдано стремление автоматизировать процесс оценивания, применив подходящий для этого научно-прикладной аппарат, в частности, технологии искусственного интеллекта. Способность человека рассуждать в неточных терминах, принимать решения в условиях неопределенности, успешно моделируется с помощью нечеткого логического вывода. Не случайно, имеется достаточное количество примеров применения этого аппарата для оценивания эффективности, качества различных процессов и систем, в том числе, и качества обработки естественно-языковых данных.

Следует принимать во внимание, что существенным недостатком систем с нечеткой логикой является сложность выбора параметров функций принадлежности входных и выходных переменных. Их настройка часто выполняется вручную на основе субъективных и недостаточно адекватных решений. Для устранения этого недостатка может быть рекомендована автоматическая нейросетевая настройка параметров нечеткого вывода, выполняемая с применением обучающих данных.

На основе представленных выше аргументов вполне обоснованной является попытка применить возможности нечеткого вывода и нейронных сетей для совершенствования процесса оценивания характеристик знание-ориентированных диалоговых систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гостьева, О.В. Методика выбора IT-решений для автоматизации бизнес-процессов на предприятиях оборонно-промышленного комплекса / О.В. Гостьева // Известия Уральского государственного экономического университета. – 2015. – №5(61). – С. 101-109
2. Даутова, Л.Р. Обзор интеллектуальных диалоговых систем с интерфейсом на естественном языке / Л.Р. Даутова, А.Р. Нафикова // Colloquium-journal. – 2019. – № 1-5(25). – С. 24-25.
3. Игитян, Е.В. Анализ интеллектуальных диалоговых систем / Е.В. Игитян, И.К. Польщиков // Информационное обеспечение научно-технического прогресса: анализ проблем и поиск

решений: Сборник статей Международной научно-практической конференции, Пермь, 25 июня 2022 года. – С. 46-48

4. Маннинг, К.Д. Введение в информационный поиск / К.Д. Маннинг, П. Рагхаван, Х. Шютце. – М.: Вильямс, 2011. – 528 с.

5. Модель интеллектуальной диалоговой системы для автоматизированного заказа билетов на основе семантического анализа / Ю. М. Монахов, Л. А. Артюшина, Е. О. Маков, М. Р. Исмаилова // Известия Института инженерной физики. – 2018. – № 3(49). – С. 77-81.

6. Низамов, А.А. Чат-боты для организации: возможности и реализация / А.А. Низамов // Интеллектуальный и научный потенциал XXI века: Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции, Минск, 15 марта 2021 года. – Нефтекамск: Научно-издательский центр «Мир науки», 2021. – С. 41-44.

7. Отслеживание состояния целеориентированного диалога на основе БЕРТ / П.А. Гуляев, Е.А. Елистратова, В.П. Коновалов [и др.] // ТРУДЫ МФТИ. Труды Московского физико-технического института (национального исследовательского университета). – 2021. – Т. 13. – № 3(51). – С. 48-61.

8. Юсупов, И.Ф. Диалоговый агент с обучаемым диалоговым менеджером / И.Ф. Юсупов, Ю.М. Куратов // ТРУДЫ МФТИ. Труды Московского физико-технического института (национального исследовательского университета). – 2020. – Т. 12. – № 4(48). – С. 106-120

9. Lavie, A. METEOR: An automatic metric for MT evaluation with high levels of correlation with human judgments / A. Lavie, A. Agarwal // Proceedings of the second workshop on statistical machine translation. – 2007. – P. 228–231.

10. Igityan, E. Models and Algorithms for Evaluating the Dialogue System Efficiency / E. Igityan, K. Polshchikov // Collection of materials of the International Conference «Partial Differential Equations and Related Topics (PDERT'22)». – Belgorod, 2022. – P. 156–159.

Игитян Елена Владимировна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Старший преподаватель кафедры информационных и робототехнических систем
Тел.: +7(4722) 24-54-13
E-mail: medevedeva_e@bsu.edu.ru

Польщик Константин Александрович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Директор института инженерных и цифровых технологий
Тел.: +7(4722) 24-54-10
E-mail: polshchikov@bsu.edu.ru

Ильинская Елена Владимировна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Старший преподаватель кафедры информационных и робототехнических систем
Тел.: +79507168383
E-mail: chmireva@bsu.edu.ru

УДК: 629.7

Д.В. СЕНЧУК
D.V. SENCHUK**ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ СЦЕНАРНЫХ АЛГОРИТМОВ В ИНТЕРЕСАХ АДАПТАЦИИ К УПРАВЛЕНИЮ РОЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ****STUDYING THE PECULIARITIES OF FORMING SCENARIO ALGORITHMS IN THE INTERESTS OF ADAPTATION TO THE CONTROL OF A SWARM OF UNMANNED AERIAL VEHICLES**

В данной статье автор рассматривает вопрос адаптации сценарного подхода в качестве сценарного алгоритма метода роевого управления децентрализованной стратегии управления беспилотными авиационными системами. Кроме того, предлагается авторский взгляд на формирование организации сценарного исследования в интересах эксплуатации беспилотных летательных аппаратов. Также представляются неопределенности выявленные в ходе анализа действия беспилотного летательного аппарата в составе группы.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, беспилотные авиационные системы, сценарный подход

In this article, the author considers the issue of adapting the scenario approach as a scenario algorithm for the swarm control method of a decentralized strategy for controlling unmanned aerial systems. In addition, the author's view on the formation of the organization of scenario research in the interests of the operation of unmanned aerial vehicles is proposed. The uncertainties identified during the analysis of the operation of an unmanned aerial vehicle as part of a group are also presented.

Keywords: unmanned air systems, unmanned aerial vehicles, scenario approach

На текущем этапе развития современных систем робототехнического комплекса перспективные исследования свидетельствуют о том, что применение единичных аппаратов и задействование малых по количеству элементов беспилотных авиационных систем (БАС) в автоматическом режиме не так эффективно, как использование крупномасштабных многоагентных систем [1, 2, 3, 4].

Так компания Elbitsystems по заказу оборонного ведомства Израиля проводит разработку и обеспечивает боевое применение гетерогенной БАС в рамках комплексного использования наземных, воздушных беспилотных аппаратов. Программное обеспечение позволяет обеспечить бесперебойную связь и управление в условиях отсутствия сигнала GPS за счет использования ориентирования по карте за счет анализа окружающей среды, что позволяет одному оператору руководить процессом выполнения задач группировкой беспилотных средств до 50 аппаратов. Каждый аппарат способен как самостоятельно, так и в составе гетерогенной группировки выполнять задания в автоматическом режиме по заранее определенному разработчиками сценарию и описанным ограничениям и допущениям. Соответственно, разработчики Elbitsystems также используют, зарекомендовавшую себя как высокоэффективную, технологию внедрения сценариев типовых ситуаций функционирования БАС.

Следовательно, можно сделать вывод о том, что использование БАС имеющей в системе управления заранее разработанный алгоритм поведения при спрогнозированных условиях изменения внешней обстановки может являться эффективным алгоритмом метода роевого управления децентрализованной стратегии управления БАС.

Решение данной задачи возможно за счет адаптации сценарного подхода (СцП). В общем сценарный подход представляет собой описание поведения и развития сложных систем в виде формализованных сценариев на определенном интервале времени в условиях ресурсных, финансовых, социальных и других типов ограничений [5]. К настоящему времени целенаправленных исследований адаптации сценарного подхода в систему управления БАС ни в отечественной науке, ни в зарубежном научном мировом сообществе не проводилось.

Под сценарным исследованием в настоящей работе будем понимать такой способ изучения БАС, когда основным средством изучения является построение и анализ набора сценариев.

Существуют различные подходы к определению этапов сценарного исследования [6]. На основе анализа отечественной и зарубежной литературы разработан авторский подход к общей организации сценарного исследования (Рис. 1).



Рисунок 1 – Общая организация сценарного исследования

На основе анализа литературных источников можно выделить следующие типы сценариев, которые возможно создавать в интересах внедрения в систему управления БАС [7]:

- синергические сценарии (моделирующие поведение БАС и описывающие спектр развития окружающей обстановки в отсутствие управляющих воздействий на процессы функционирования единичного БЛА);
- сценарии прямого управления (моделирующие спектр развития в связи с выбранным комплексом мероприятий, реализующих прямую задачу управления);
- аттрактивные сценарии (сценарии поведения БЛА в соответствии с желательными с точки зрения целеполагания лица, принимающего решения (ЛПР), управляющими воздействиями, т.е. реализующими обратную управления).

Основной целью при построении сценариев поведения БАС в настоящем исследовании является максимально возможное снижение неопределенности.

Под неопределенностью будем понимать ситуацию, когда частично или полностью отсутствует информация о структуре и возможных состояниях исследуемой системы и (или) ее внешней среды. В настоящей работе выявляются и изучаются неопределенности, влияющие на исход событий в процессе выполнения БАС полетного задания.

Выделим следующие характеристики неопределенностей:

- недетерминированность протекания процессов во времени;
- неполноту учитываемой информации;
- неопределенность воздействия внешней среды на систему;
- неоднозначность выбора критериев принятия решений.

Исследуем виды неопределенности применительно к исследуемой области знаний и детализируем источники их возникновения на примере процесса выполнения полетного задания единичным БЛА в составе БАС (рис. 2).

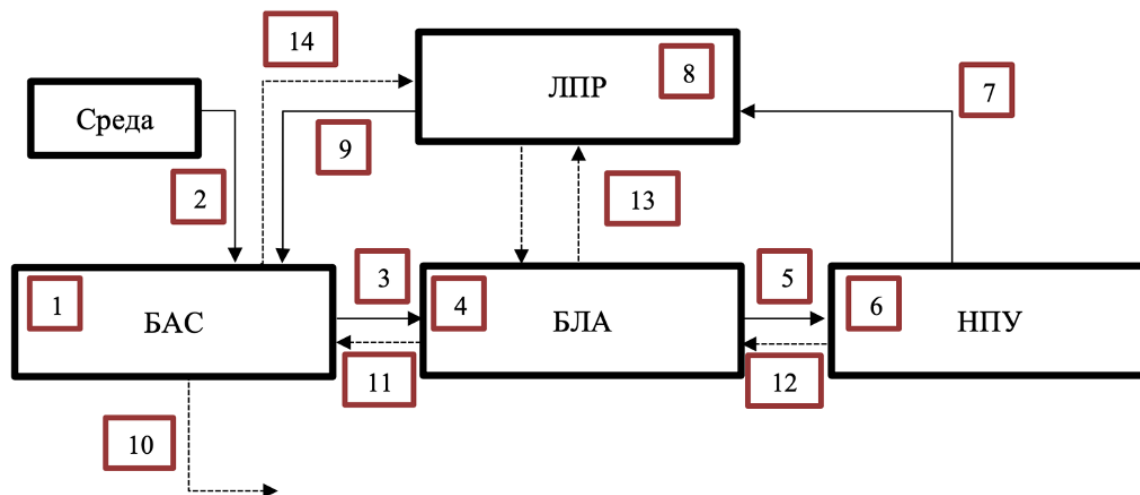


Рисунок 2 – Дифференциация видов неопределенности в зависимости от источника возникновения: 1. Поведение БАС и ее элементов; 2. Воздействие среды на БАС; 3. Информация о БАС и ее среде; 4. БЛА из состава БАС; 5. Процесс концептуализации информации, полученной субъектом исследования; 6. Модель системы (наземный пункт управления, математическое описание, математическая модель БЛА); 7. Восприятие лицом принимающим решение команд управления (модели системы); 8. Лицо принимающее решение (ЛПР); 9. Воздействия на систему; 10. Воздействие системы на среду; 11. Воздействие БЛА на БАС; 12. Воздействие НПУ на БЛА; 13. Взаимодействие ЛПР и БЛА; 14. Воздействие БАС на ЛПР.

Рассмотрим задачу доставки груза гетерогенной БАС из N -аппаратов i -типов аппаратов. В качестве единичного БЛА примем летательный аппарат мультикоптерного типа. В таком случае, неопределенности, которые будут существенно влиять на выполнение полетного задания можно представить в таблице (Табл. 1).

Таблица 1 – Детализация видов неопределенности

№ п/п	Вид неопределенности	Детализация неопределенностей
1.	Поведение БАС и ее элементов	<ul style="list-style-type: none"> - Поддержание эффективной и устойчивой взаимосвязи подсистем БАС: БЛА-коптерного типа, БЛА-самолетного типа, НПУ, зарядные станции, ЛПР; - Исправное выполнение типовых функций: БЛА осуществляют решение главной задачи, ЛПР регулирует ее решение с НПУ, зарядные станции используются для зарядки АКБ БЛА по мере необходимости;
2.	Воздействие среды на БАС	<ul style="list-style-type: none"> - Влияние метеоусловий (затрудняют/улучшают/не влияют на выполнение полетного задания: ветер, дождь, град, обледенение, снег, туман, облачность, время суток, низкие-высокие температуры воздуха, атмосферное давление); - Влияние физико-географических условий (затрудняют, улучшают, не влияют на выполнение полетного задания: горная, лесистая, степная, пустынная, смешанная местность, высота над уровнем моря); - Влияние расположения объектов инфраструктуры на пути следования БЛА (затрудняют, улучшают, не влияют на выполнение полетного задания: здания, антенны, линии электропередач, аэродромы, закрытые полетные зоны); - Влияние внешних факторов (пожар, наличие большого скопления птиц, действия станций РЭБ, качество хранения, порядок перемещения к месту начала полетов).

Окончание табл. 1

1	2	3
3.	Информация о БАС и ее среде	- надежность/качество/ТТХ связи БЛА с другими элементами/подсистемами БАС; - местоположение в пространстве «ведущего» БАС и качество связи с ним (назначается N -тый аппарат, в случае его выхода из строя в соответствии с определенным порядком проверяется связь с $N+1$ -тым).
4.	БЛА из состава БАС	- скорость полета текущая; - высота полета текущая; - исходные ТТХ (максимальная, минимальная грузоподъемность, длина винтов, габариты, жесткость конструкций и т.д.).
5.	Процесс концептуализации информации, полученной субъектом исследования	- надежность канала связи БЛА с НПУ; - качество канала связи БЛА с НПУ; - ТТХ канала связи БЛА с НПУ.
6.	Модель системы (наземный пункт управления, математическое описание, математическая модель БЛА)	- скорость обработки полученных сведений.
7.	Восприятие лицом принимающим решение команд управления (модели системы)	- время задержки информации от БЛА до ЛПР.
8.	Лицо принимающее решение (ЛПР)	- подготовленность ЛПР; - условия принятия решения (влияние стресс-факторов, усталости); - время принятия решения; - приспособленность рабочего места.
9.	Воздействия на систему	- замена АКБ; - замена элементов полезной нагрузки; - замена, ремонт винтов.
10.	Воздействие системы на среду	- выполнение полетного задания в зависимости от разработанного сценария (доставка груза, осуществление мониторинга); - влияние на состояние окружающей среды (звук от полета);
11.	Воздействие БЛА на БАС	- в случае потери связи с другими элементами, БАС меняет конфигурацию в соответствии с задачами сценария; - ретрансляция команд управления ЛПР через НПУ.
12.	Воздействие НПУ на БЛА	- временные показатели передачи команд управления от ЛПР.
13.	Взаимодействие ЛПР и БЛА	- осуществление визуального контроля; - осуществление технического обслуживания или регламентных работ.
14.	Воздействие БАС на ЛПР	- шум

Таким образом, реализация и внедрение СцП в исследовательский и технологический процесс производства БАС позволит автоматизировать процесс принятия решения ЛПР за счет разработки формализованных сценариев, что существенно оптимизирует эффективность выполнения полетных заданий (за счет сокращения времени на принятие решения, снижения временных показателей выполнения типовых задач). Кроме того, имеющийся набор неопределенностей можно

дополнять в ходе дополнительных исследований и тем самым далее совершенствовать достижение целей эксплуатации БАС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kernbach S. Adaptive collective decision-making in limited robot swarms without communication // Int. J. Rob. Res. Sage Publications Sage UK: London, England, 2013. Vol. 32, № 1. P. 35–55.
2. Bloss R. Advanced swarm robots addressing innovative tasks such as assembly, search, rescue, mapping, communication, aerial and other original applications // Ind. Robot An Int. J. Emerald Group Publishing Limited, 2019. Vol. 41, № 5. P. 408–412
3. Mondada F. et al. SWARM-BOT: from concept to implementation // Proc. 2003 IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robot. Syst. (IROS 2003) (Cat. No.03CH37453). 2003. Vol. 2.
4. Ильичев К.В. Разработка масштабируемой мобильной робототехнической системы ролевого взаимодействия / К.В. Ильичев, С. А. Манцеров // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2017. – № 21. – С. 91-108
5. Каляев И. А. Самоорганизация в мультиагентных системах / И. А. Каляев, А. Р. Гайдук, С. Г. Капустян // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 3(104). – С. 14-20.
6. Переверза Е. В. Сценарный подход в задачах анализа сложных социальных систем / Е.В. Переверза // Системные исследования и информационные технологии. – 2011. – № 1. – С. 133-143.
7. Сценарное исследование сложных систем: анализ методов группового управления / В. В. Кульба, Д. А. Кононов, И. В. Чернов [и др.] // Управление большими системами: сборник трудов. – 2010. – № 30-1. – С. 154-186.
8. Белоглазов Д. А. Групповое управление подвижными объектами в неопределенных средах / Д. А. Белоглазов, А. Р. Гайдук, Е. Ю. Косенко [и др.]. – М.: ООО «Физико-математическая литература», 2015. – 305 с.
9. Миляков Д. А. Об управлении большой группой беспилотных летательных аппаратов как системой с распределенными параметрами / Д. А. Миляков // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XX Международной конференции, Самара, 03–06 сентября 2018 года / Под ред. Е.А. Федосова, Н.А. Кузнецова, С.Ю. Боровика. – Самара: Общество с ограниченной ответственностью «Офорт», 2018. – С. 176-181.
10. Муслимов Т. З. Децентрализованное групповое нелинейное управление строем беспилотных летательных аппаратов самолетного типа / Т. З. Муслимов, Р. А. Мунасыпов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2020. – Т. 21, № 1. – С. 43-50.

Сенчук Дмитрий Владимирович

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва
аспирант лаборатории киберфизических систем
Тел. +7 (916) 921-87-65
E-mail: tyxer2006@gmail.com

УДК 681.3.063

И.А. ТЕНЬКАЕВ, А.Г. АРТАМОНОВ, С.А.К. ДИАНЕ
I.A. TEN'KAEV, A.G. ARTAMONOV, S.A.K. DIANE

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕТЕРОГЕННОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ ТРУДНОДОСТУПНЫХ УЧАСТКОВ ИНЖЕНЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ПОМОЩЬЮ АВТОНОМНОГО РТП И БПЛА

SIMULATION OF A HETEROGENEOUS ROBOT-TECHNICAL SYSTEM FOR THE CONSTRUCTION OF HARD-TO-ACCESS AREAS OF ENGINEERING STRUCTURES WITH THE HELP OF AUTONOMOUS RTP AND A DRON

В данной статье авторы освещают проблему реализации технологического процесса по возведению труднодоступных участков здания с помощью РТП и БПЛА

Ключевые слова: РТП; БПЛА

In given article authors shine a problem designing the design of a robotic transport platform (RTP) for the implementation of the technological process for the construction of hard-to-reach sections of the building using RTP and a dron

Keywords: RTP; dron

Актуальность исследования обусловлена потребностями сфер сельского и коммунального хозяйства, строительной сферы, аварийно-спасательных задач.

Новизна исследования заключается в следующем, а именно:

- в методике организации технологического процесса по возведению фрагмента здания на базе автономного РТП и БПЛА (коптера);
- в разрабатываемых алгоритмах детекции строительных блоков и элементов постройки;
- в разрабатываемых алгоритмах планирования движений мобильной платформы;
- в разрабатываемых алгоритма планирования движений манипулятора с визуальной обратной связью;
- в реализации технологического процесса по возведению труднодоступных участков здания путем сбора расставленных на плоскости строительных блоков и элементов постройки РТК, их погрузкой на БПЛА и последующей установкой в участки, согласно заданных координат.

Цель исследования – реализация технологического процесса по возведению труднодоступных участков здания с помощью РТП и БПЛА.

Задачи исследования:

- Анализ публикаций по вопросам проектирования и исследования роботизированных транспортных платформ;
- Разработка обобщенной структурной схемы аппаратного обеспечения роботизированной транспортной платформы;
- Разработка структурной схемы программно-алгоритмического обеспечения роботизированной транспортной платформы;
- Выбор моделирующего программного комплекса;
- Ознакомление с возможностями моделирующего программного комплекса;
- Реализация технологического процесса по возведению труднодоступных участков здания с помощью РТП и БПЛА.

Актуальность проблематики исследования РТП для транспортировки строительных блоков на объектах малоэтажного строительства и их установкой в труднодоступные участки занимает одно из ведущих мест. Основными технологическими операциями отличаются значительной трудоемкостью, большими объемами, частичной механизацией и малой автоматизацией. Одним из путей интенсификации этих видов работ является автоматизация строительных операций на основе использования достижений робототехники, мехатроники и микропроцессорной техники. Анализ технологии строительства малоэтажных объектов показывает, что в настоящее время можно комплексно механизировать и автоматизировать процесс выполнения монтажных, отделочных и бетонных работ на основе разработки и внедрения специализированных роботов, робототехнических и мехатронных систем. Технологические особенности строительных процессов требуют адаптации роботов к условиям строительной площадки, разработки новых принципов построения строительных роботов. Успешная роботизация строительства возможна лишь при ее организации, изначально ориентированной на применение роботов для выполнения определенных строительных операций. Для проведения таких исследований необходимо лабораторное оборудование, которое позволит произвести моделирование процесса.

Перспективные типы строительных роботов представлены ниже.



Рисунок 1 – On-Site Fabricator



Рисунок 2 – Termes

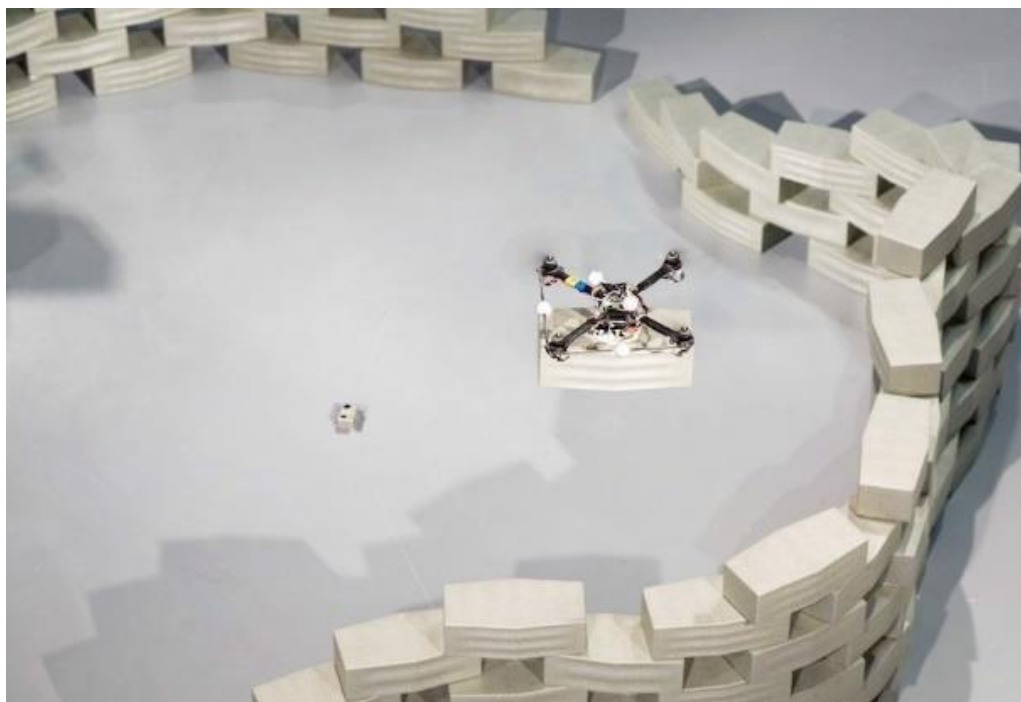


Рисунок 3 – Termes

Обобщенная структурная схема аппаратного обеспечения РТП представлена ниже.

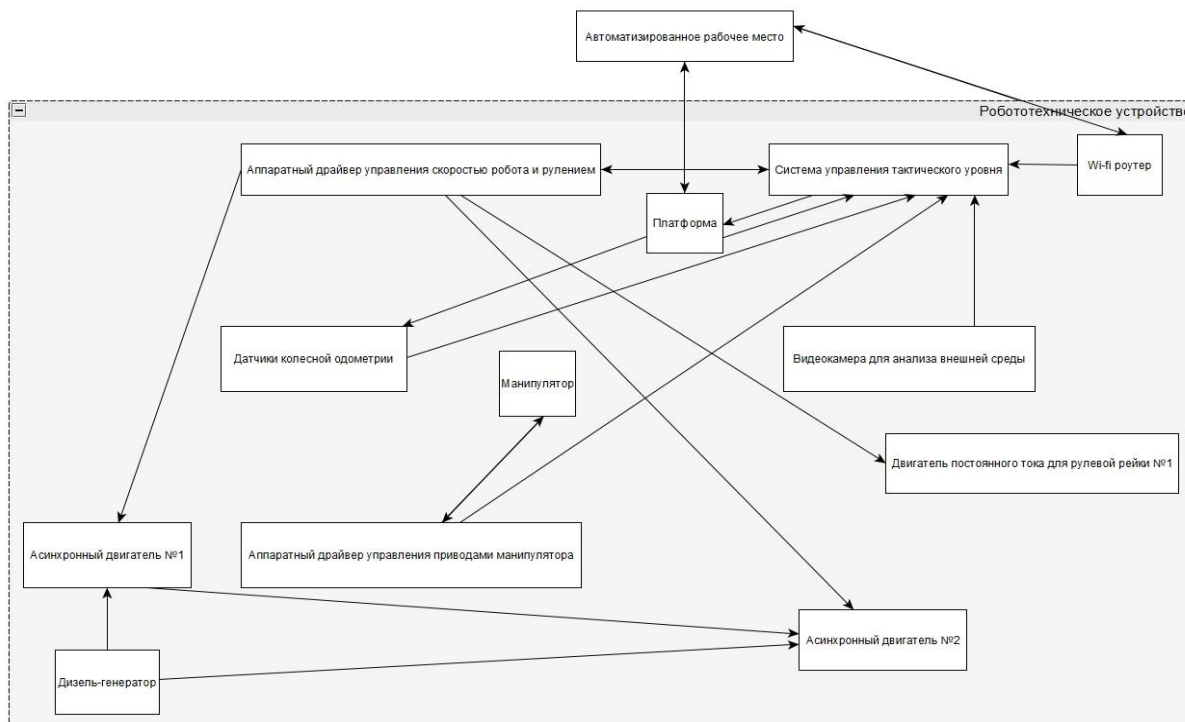


Рисунок 4 – Обобщенная структурная схема аппаратного обеспечения РТП

Структурная схема программно-алгоритмического обеспечения роботизированной транспортной платформы представлена ниже.

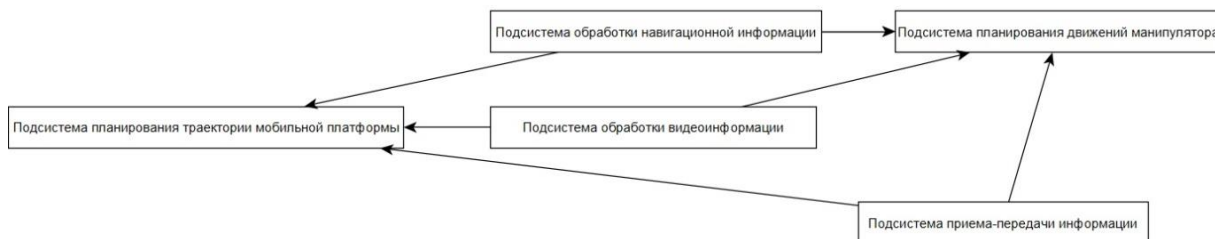


Рисунок 5 – Структурная схема программно-алгоритмического обеспечения роботизированной транспортной платформы

Для реализации технологического процесса по возведению труднодоступных участков здания с помощью РТП и БПЛА выбран моделирующий программный комплекс CoppeliaSim в связи со следующими техническими преимуществами, а именно:

- Симулятор робототехники CoppeliaSim с интегрированной средой разработки, пришедший на смену популярной среде V-REP, является универсальным решением при разработке алгоритмов, моделирования автоматизации производства, быстрого прототипирования и проверки, обучения в области робототехники;
- CoppeliaSim базируется на распределенной архитектуре управления: каждый объект/модель может индивидуально управляться с помощью встроенного скрипта, плагина, узла ROS или BlueZero, удаленного клиента API или специального решения.
- Контроллеры могут быть написаны на 6 полностью поддерживаемых языках программирования: C/C++, Python, Java, Lua, Matlab или Octave;
- CoppeliaSim содержит множество встраиваемых функций: удаленное управление имуляцией или самим симулятором (например, с реального робота или другого ПК),

4 физических движка (Bullet Physics, ODE, Newton и Vortex Dynamics) для быстрых и настраиваемых динамических расчетов, для моделирования реальной физики и взаимодействия объектов (реакции на столкновение, захвата и т. д.);

- CorreliaSim является кроссплатформенной средой и позволяет создавать переносимый, масштабируемый и легко обслуживаемый контент: один переносимый файл может содержать полностью функциональную модель (или сцену), включая управляющий код.

Алгоритм управления РТП и БПЛА (коптером) для реализации технологического процесса по возведению труднодоступных участков здания представлен ниже.

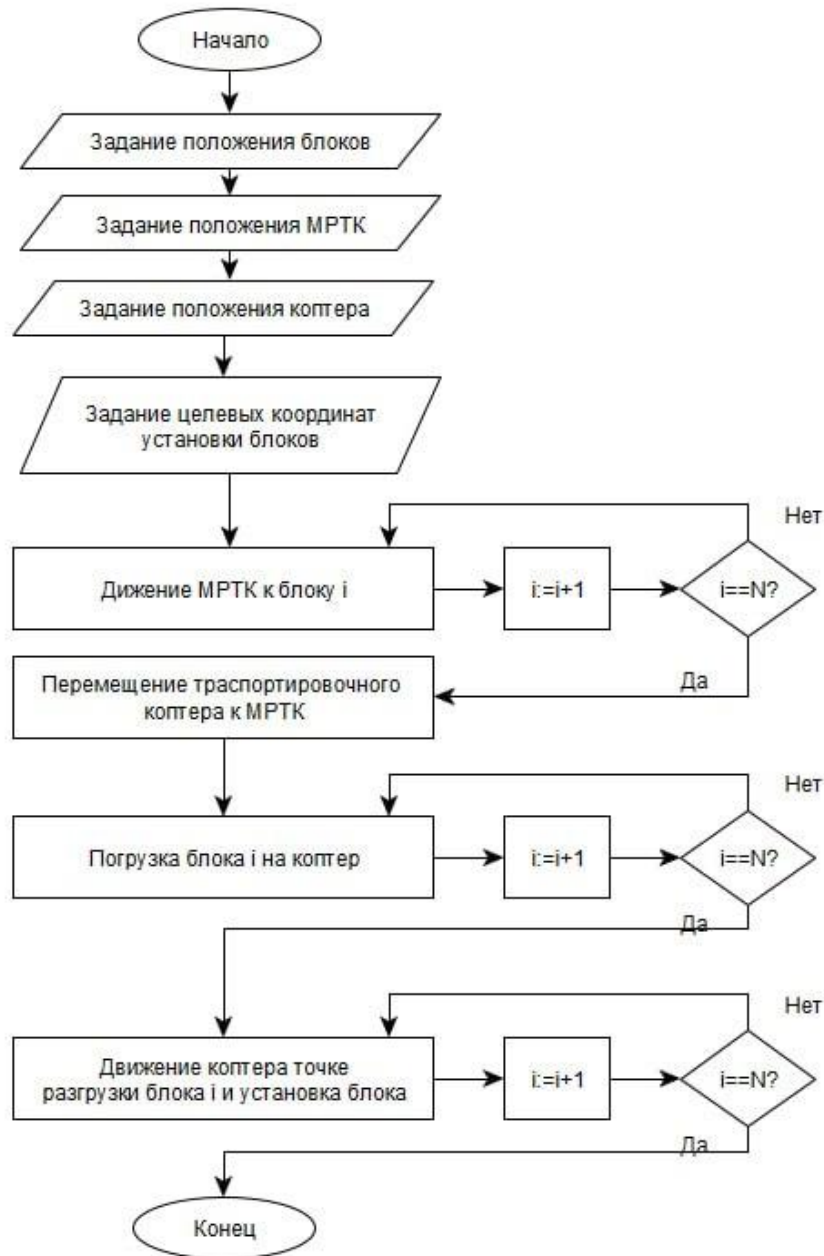


Рисунок 6 – Структурная схема алгоритма управления РТП и БПЛА для реализации технологического процесса по возведению труднодоступных участков здания

Результаты исследования, смоделированные в программном комплексе (п.к.) CorreliaSim представлены ниже.

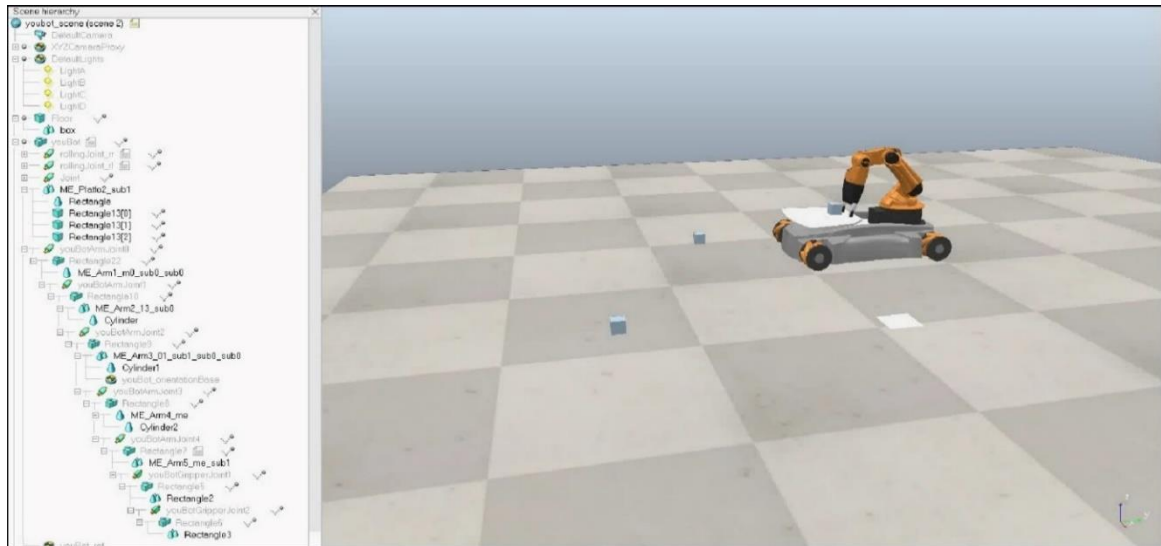


Рисунок 7 – Результаты исследования, смоделированные в п.к. CoppeliaSim

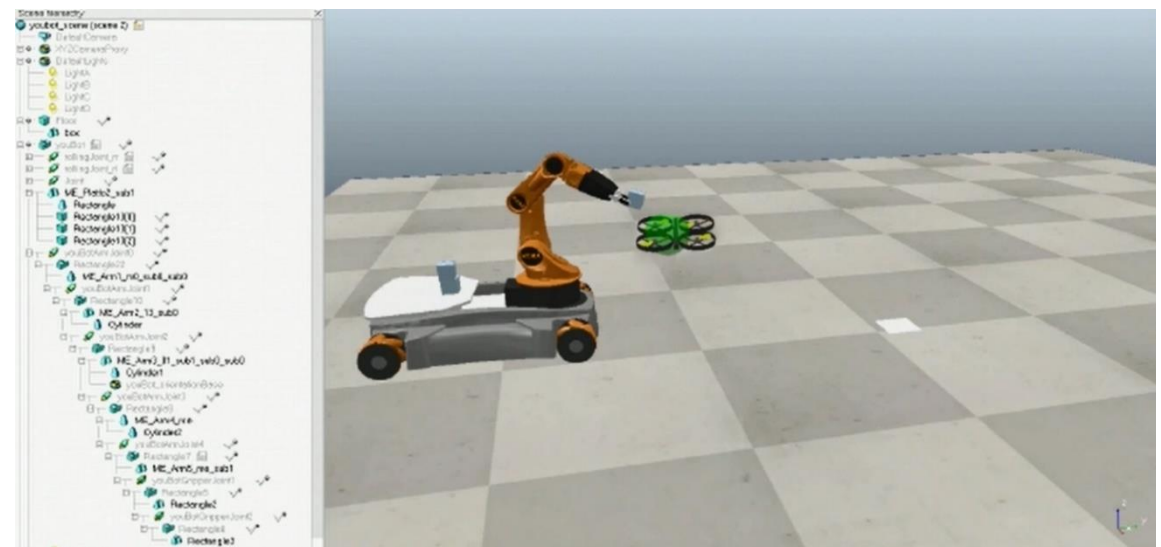


Рисунок 8 – Результаты исследования, смоделированные в п.к. CoppeliaSim

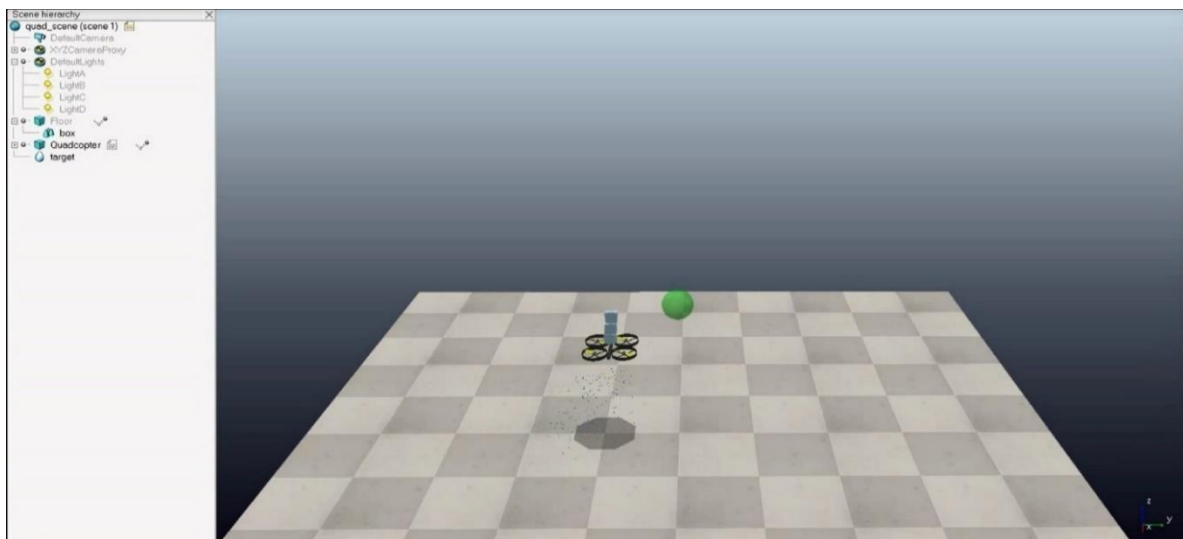


Рисунок 9 – Результаты исследования, смоделированные в п.к. CoppeliaSim

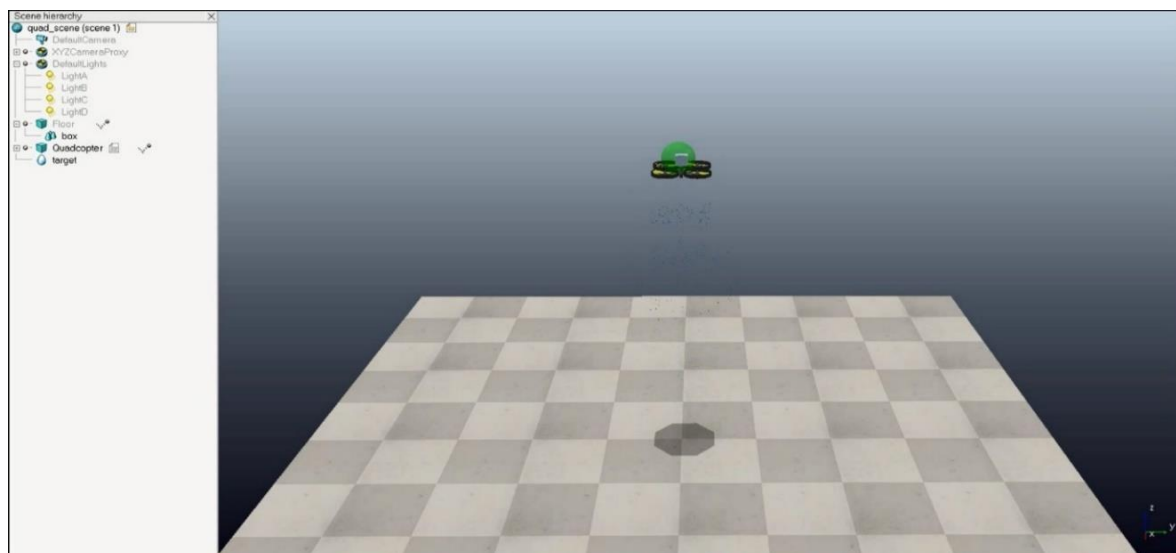


Рисунок 10 – Результаты исследования, смоделированные в п.к. CoppeliaSim

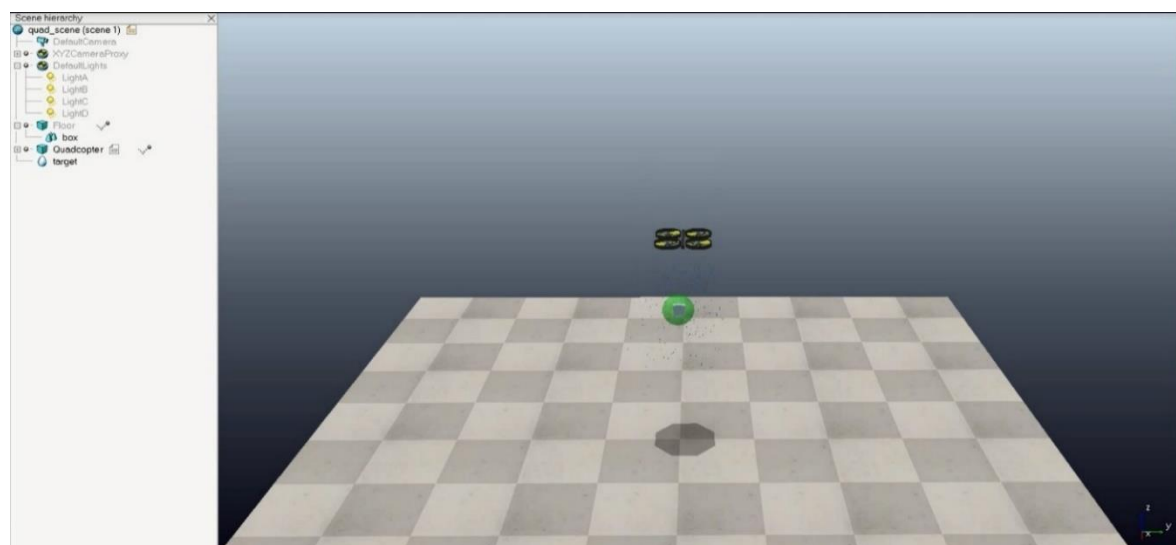


Рисунок 11 – Результаты исследования, смоделированные в п.к. CoppeliaSim

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dörfler, Kathrin & Sandy, Timothy & Gifftaler, Markus & Gramazio, Fabio & Kohler, Matthias & Buchli, Jonas. Mobile Robotic Brickwork. Automation of a Discrete Robotic Fabrication Process Using an Autonomous Mobile Robo. Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design - Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2016. pp. 204-217.
2. Ardiny, Hadi & Witwicki, Stefan & Mondada, Francesco. Construction Automation with Autonomous Mobile Robots: A Review. 3rd RSI International Conference on Robotics and Mechatronics (ICROM). Ecole Polytechnique F'ed'eraledede Lausanne, Lausanne, Switzerland, 2015. pp.418-424.
3. Yiwen Hua, Yawen Deng, Kirstin Petersen. Robots Building Bridges, Not Walls. IEEE 3rd International Workshops on Foundations and Applications of Self* Systems (FAS*W). Australia, Queensland, 2018. pp.154-159.

Тенькаев Илья Александрович

Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН г. Москва

Старший инженер лаборатории №90

Тел.: +7(909) 905-99-97

E-mail: iliya145@mail.ru

УДК 004.384

Г.Е. ТУРЧАНИНОВ
G.E. TURCHANINOV**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ «УМНЫЙ ДОМ»****MODERN SMART HOME TECHNOLOGIES**

В этой статье автор предоставляет информацию о современных технологиях Умный дом, которые существенно улучшают качество жизни, автоматизируя ее сферы. Описаны различия между проводными и беспроводными системами, разница в подходе к выбору специализированного оборудования.

Ключевые слова: автоматизация умный дом, протоколы передачи сигнала.

In this article, the author provides information about modern Smart home technologies that significantly improve the quality of life by automating its spheres. The differences between wired and wireless systems, the difference in the approach to the selection of specialized equipment are described.

Keywords: smart home automation, signal transmission protocols.

Современные технологии существенно улучшают качество жизни, автоматизируя многие ее сферы. Они проникают в жилые помещения, ландшафтный дизайн и домашние хозяйства.

Системы Умного дома позволяют владельцам управлять своим домом и коммунальными системами через мобильное устройство или компьютер, даже находясь вне дома. Повторяющиеся действия могут выполняться автоматически, без вмешательства владельца.

Возможность автоматизации своего дома привлекает многих домовладельцев. Однако не у всех есть время и желание изучать технологии и разбираться в их сложности. Системы умный дом очень разнообразны, что может привести к потере времени и денег. Одно из различий между системами умный дом - это выбор средства связи между элементами системы – проводными и беспроводными.

В мире, где безопасность подключений является приоритетом, интеллектуальные продукты должны иметь возможность обмениваться информацией с несколькими устройствами. Для этого используется протокол связи, язык, на котором устройства могут понимать друг друга.

Протоколы - это способы передачи сигналов между устройствами, позволяющие им обмениваться информацией и выполнять действия. Например, голосовая команда, распознанная одним устройством, может быть передана другому, которое включит или выключит свет. При выборе устройств, для создания экосистемы умного дома, важно понимать различия между протоколами связи и их особенности. Они разрабатываются консорциумами, организациями и ассоциациями, члены которых обсуждают и согласовывают детали и создают образцы устройств для демонстрации. Существуют «открытые» группы протоколов для их использования широкой аудиторией, такие как KNX и Z-wave, тогда как другие, например, Zigbee, доступны только при приобретении лицензии определенным производителям или пользователям. Перед добавлением новых устройств в систему умный дом необходимо изучить наиболее популярные протоколы на сегодняшний день.

Инфракрасный протокол – прост и надежен, но обеспечивает только одностороннюю связь.

Ethernet – обеспечивает быструю и надежную проводную связь,

Wi-Fi – беспроводная связь на большие расстояния при низкой мощности передачи.

Bluetooth – беспроводная связь малого радиуса действия, которая адаптируется к существующим сигналам, чтобы минимизировать помехи. Популярный протокол, который используется в умных домах для автоматизации различных устройств. Позволяет легко соединять различные Bluetooth-устройства между собой. Bluetooth отличается отличной совместимостью и экономией энергии, что делает его идеальным выбором для тех, кто следит за энергопотреблением, но имеет ограниченный диапазон общения, что может привести к проблемам, когда устройства выйдут за его пределы. Это может быть решено с развитием технологий, которые позволят Bluetooth

иметь больший диапазон и быть более конкурентоспособным по сравнению с другими протоколами, такими как Zigbee и Z-wave.

Zigbee – беспроводной протокол, который работает в ячеистой сети, и используется для передачи сигнала от одного устройства к другому, усиливая и расширяя сеть. Zigbee может быть встроен в различные устройства, такие как диммеры, дверные замки, термостаты и т.д., и позволяет им обмениваться данными быстро и на больших расстояниях. Имеет супернизкое энергопотребление, что позволяет ему работать на одних батарейках в течение многих лет. Легко используется в разработке новых устройств, он прост для разработчиков, позволяет создавать новые совместимости. Имеет повышенную безопасность и экологический эффект. Одно устройство Zigbee может питать несколько других устройств домашней автоматизации, что делает его еще более удобным в использовании.

Z-Wave – протокол ячеистой сети с открытым исходным кодом. Основное отличие от Zigbee в том, что Z-Wave примерно в 6 раз медленнее. Но есть и преимущество – требует меньше энергии для покрытия того же диапазона, что и Zigbee. SmartThings и Lowes Iris.

К особенностям использования Z-Wave в умном доме можно отнести: **Быстродействие.** Работает на частоте 869,0 МГц (в России), что ниже, чем частота, используемая большинством бытовых устройств (2,4 ГГц). Устройства не конкурируют за пропускную способность, что снижает вероятность возникновения помех и повышает эффективность и скорость. **Доступность настройки.** Устройства Z-Wave, такие как умный замок Yale, известны своей простотой в настройке и доступностью использования. Они управляются через центральный концентратор, что позволяет управлять всей домашней сетью. После настройки можно легко добавить различные классы устройств умного дома, которыми можно будет управлять по домашнему протоколу Z-Wave; **Совместимость с различными продуктами.** Любое устройство Z-Wave может взаимодействовать с другим, независимо от марки, версии или типа. **Совместимость с более чем 1500 устройствами.** Это обеспечивает огромное количество возможностей для настройки автоматизации дома; **Низкое энергопотребление.** Устройства Z-Wave, как правило, потребляют меньше энергии, чем другие. Это дает возможность использовать больше устройств, сохраняя низкий счет за электроэнергию. **Инновационность.** Продукты домашней автоматизации продолжают развиваться, а Z-Wave остается совместимой с различными, в том числе и новыми, версиями продуктов, что дает возможность сохранения протокола даже при развитии технологий.

KNX – проверенная годами система, являющаяся одной из самых популярных. Этот протокол работает на нескольких физических уровнях, таких как витая пара, сеть по линиям электропередачи, инфракрасный порт, Ethernet и RF. Протокол KNX также обеспечивает высокую гибкость при настройке умного дома. Система KNX позволяет легко настраивать и управлять устройствами, а также объединять их в сценарии для автоматизации рутинных задач. Это позволяет добиться максимального комфорта и эффективности, оптимизировав использование ресурсов и снизив расходы на энергию.

Совместимость и безопасность

Каждый протокол обладает своими преимуществами для определенной технологии. Однако, что делать, если нужно использовать несколько протоколов одновременно? В таком случае требуется концентратор, который поддерживает несколько протоколов и позволяет их взаимодействие между собой. Тем не менее, следует учитывать, что некоторым устройствам необходимо выполнить дополнительные настройки, чтобы перевести протокол на язык, который понимает домашний помощник. Например, лампочки Philips Hue могут взаимодействовать с Amazon Echo только через мост Philips.

Также стоит учесть, что некоторые концентраторы не могут идентифицировать все устройства, даже если они поддерживают необходимые протоколы. Чтобы избежать проблем совместимости, лучше выбирать устройства, использующие один и тот же проприетарный протокол. Если добавлять устройства разных брендов в свою экосистему, следует провести тщательное исследование перед покупкой нового умного устройства.

Кроме того, рекомендуется покупать сертифицированные продукты. Эти продукты тестировались в аккредитованных испытательных лабораториях и соответствуют стандартам безопасности и производительности. Хотя сертификация не гарантирует совместимость устройств, она

показывает, что производитель тестировал свой продукт на соответствие стандартам на этапе разработки. Как минимум, можно быть уверенным, что приобретенный продукт безопасен для использования и не нарушит работу других устройств.

Проводные системы Умный дом

Умный дом представляет собой комплекс устройств, которыми управляют контроллеры. Для их эффективной работы необходима связь между приборами, которая достигается с помощью передачи сигнала по проводам. Это решение очень надежно и удобно в использовании, поскольку обеспечивает доставку сигнала до устройства-получателя.

Провода не подвержены помехам, поэтому единственной причиной возможных проблем является механическое повреждение шины, но это происходит крайне редко. Проводные технологии обеспечивают передачу информации на любое расстояние, и объем информации может быть достаточно большим, а скорость передачи максимальной. Еще одним преимуществом проводных технологий является быстрая обратная связь. Это означает, что устройство «отчитается» о выполнении полученной команды, и пользователь всегда будет в курсе происходящего.

Стабильная обратная связь позволяет контролировать состояние элементов системы, что обеспечивает быстрое решение возникающих проблем. Проводные технологии открывают широкие возможности для реализации систем любой сложности и разной конфигурации. Еще одним преимуществом является то, что систему, работающую с проводным протоколом, практически невозможно взломать.

Однако у этой технологии есть и недостатки. Основной из них - сложности в монтаже. Для установки проводной системы умного дома необходимо провести провода к каждому элементу системы. Обычно для этого делают скрытую подводку, штробят канавки под кабель в полах и стенах. Это наиболее оптимальный вариант монтажа, который следует выполнять в процессе капитального ремонта или при строительстве дома, но впоследствии система не требует дополнительного обслуживания и без проблем функционирует на протяжении многих лет. При использовании большого количества проводов возможно возникновение проблем с их размещением и маркировкой. Проводная система может ограничивать гибкость изменения конфигурации умного дома. Если необходимо добавить новое устройство или изменить расположение существующих, придется проводить новую подводку.

Проводные технологии позволяют сократить количество потребляемой энергии и снизить расходы на обслуживание системы, что является еще одним важным приоритетом.

Беспроводной комплекс Умный дом

Для обеспечения связи между элементами умного дома по беспроводной технологии используется радиосигнал. Существует несколько распространенных протоколов, которые могут быть задействованы в таких системах: Bluetooth, Wi-Fi, Z-Wave, ZigBee и другие. Беспроводные комплекты особенно любят домашние умельцы, ведь такое оборудование предельно просто в установке. Его нужно только поставить на место и подключить.

Основными преимуществами беспроводных протоколов являются портативность, быстрое развертывание сети и простота настройки. Это преимущества перед проводными, но только в этом отношении. Недостатков гораздо больше. Беспроводная технология предлагает ограниченную функциональность, поэтому можно построить только самые простые системы Умного дома. Кроме того, радиосигналы не имеют обратной связи, поэтому у пользователя нет возможности контролировать состояние оборудования.

Радиус действия радиосигнала ограничен. В домах с большой площадью необходимо устанавливать несколько передающих устройств для создания полноценной сети. Кроме того, радиосигналы подвержены всевозможным помехам и не могут проникать через определенные предметы или материалы. Это может привести к появлению «мертвых зон», где беспроводная связь невозможна в пределах помещения. Производители беспроводного оборудования редко шифруют свои сигналы. Поэтому такие устройства очень легко взломать. Это одна из причин, по которой эксперты настоятельно не рекомендуют использовать беспроводные технологии, например, для внедрения систем безопасности. Другим недостатком является зависимость от электричества. Можно использовать сетевое питание, но это часто неудобно, поэтому применяются батарейки или аккумуляторы. Владельцам необходимо избегать разрядки батарей, так как если они разрядятся, си-

стема выйдет из строя и ее придется настраивать заново. Необходимость постоянно покупать новые батареи не удобна и требует дополнительные затраты. Недостатком беспроводных систем является несовместимость оборудования, работающего по разным протоколам связи. Справедливо-сти ради следует отметить, что этот недостаток присущ многим проводным системам.

В заключение следует признать, что невозможно сделать однозначный вывод о том, что одна система лучше другой. Это связано с тем, что они разные и предназначены для разных целей. Если для сложных комплексов идеально подходит проводная технология, то для автоматизации некоторых элементов лучше выбрать беспроводной аналог. Но они прекрасно работают вместе и дополняют друг друга, например, при реализации дистанционного управления проводным умным домом. В индивидуальных проектах умного дома часто используется сочетание проводных и беспроводных технологий для наиболее эффективного решения задач в соответствии с потребностями и предпочтениями пользователей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. KNX24 [Электронный ресурс] https://knx24.com/news/base/smart_home_protocols/
2. TECH-HOUSE [Электронный ресурс] <https://tech-house.ru/chem-otlichaetsya-besprovodnoj-ot-provodnogo-umnogo-doma/>
3. Малых, М.С. Необходимость защиты web-сайта специальными средствами / М. С. Малых // Университетская наука. – 2021. – № 2(12). – С. 98-100. – EDN IZQQAL.

Турчанинов Геннадий Евгеньевич

Северо-Кавказский филиал ФГАОУ ВО высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» г. Минеральные Воды

Преподаватель

Телефоны: +79064777461

E-mail: tge2000@rambler.ru

УДК 681.3.062

Ю.Г. ЧАШИН, С.А. ЛАЗАРЕВ
Y.G. CHASHIN, S.A.LAZAREV

АНАЛИЗ УГРОЗ, МЕТОДОВ И СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ В ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЯХ

ANALYSIS OF SECURITY THREATS, METHODS AND SYSTEMS IN SOFTWARE-DEFINED NETWORKING

В данной статье авторы освещают проблему обеспечения безопасности в программно-конфигурируемых сетях. Анализируются группы угроз безопасности, акцент делается на актуальности поиска скомпрометированных коммутаторов. Рассматриваются возможные атаки с такого коммутатора. Описываются признаки компрометации коммутатора. Исследуются механизмы, используемые в современных системах обнаружения скомпрометированных коммутаторов, анализируются их недостатки.

Ключевые слова: безопасность в программно-конфигурируемых сетях, протокол OpenFlow, методы обнаружения скомпрометированных коммутаторов, системы обнаружения скомпрометированных коммутаторов

In this article, the authors highlight the security issue in software-configurable networks. Security threat groups are analyzed, the emphasis is on the relevance of searching for compromised switches. Possible attacks from such a switch are considered. Describes the signs of compromise of the switch. The mechanisms used in modern systems for detecting compromised switches are investigated, their shortcomings are analyzed.

Keywords: security in software-defined networking, OpenFlow protocol, methods for detecting compromised switches, systems for detecting compromised switches

Введение

В условиях сложной эпидемиологической ситуации повышается спрос на различные онлайн сервисы, которые охватывают практически все сферы нашей жизни. Это приводит к существенному повышению нагрузки на крупные центры обработки данных (ЦОД). Одновременно с этим увеличивается и количество атак на такие центры, так за 2021 год их количество, например в Евросоюзе, возросло примерно в 6 раз. ЦОД подверженные успешным атакам могут понести как материальные потери, так и репутационные. Поэтому задача, совершенствования различных методов, направленных как на увеличение производительности, так и на улучшение безопасности является актуальной [1, 2].

Принципы используемые в программно-конфигурируемых сетях (ПКС)

В настоящее время использование ПКС в крупных ЦОД становится необходимой нормой. Концепция построения ПКС позволяет объединять коммутаторы различных производителей, что ведет к снижению стоимости, но и увеличивает возможные уязвимости. В ПКС контур управления отделен от контура передачи данных, что позволяет передать всю логику управления на специализированное программное обеспечение (ПО), находящееся на сервере, или на контроллер ПКС [3]. Использование специализированного ПО несет дополнительные риски, как по уязвимости самого такого ПО, так и по доступу к нему. Однако использование выделенного контура управления позволяет получать глобальное видение топологии, состояние коммутаторов, загрузку каналов передачи и др., что дает возможность более эффективно и централизованно управлять сетью.

Основным элементом ПКС является протокол OpenFlow [4], позволяющий задавать каждому коммутатору правила маршрутизации/модификации, которые хранятся в таблицах потоков коммутаторов. Такие таблицы потоков образуют конвейер обработки пакета, который позволяет последовательно обрабатывать пакеты несколькими правилами маршрутизации.

Также имеются выделенная групповая таблица для групповых правил маршрутизации, и опциональные групповые правила маршрутизации.

Заголовки пакетов, поступивших на вход коммутатора, сравниваются с шаблонами правил в соответствии с приоритетами, и в случае совпадения выполняется соответствующая инструкция правила. К таким правилам относятся: пересылка пакета на другой коммутатор, сброс пакета, изменение заголовка пакета, переадресация пакета на сервер для анализа и др. Формат правил маршрутизации/модификации содержит, помимо прочих полей, поле счетчика, которое хранит число пакетов, обработанных данным правилом маршрутизации с начала добавления его в коммутатор.

Таким образом сосредоточение администрирования всех сетевых коммутаторов, на одном управляющем сервере или контроллере ПКС, позволяет осуществлять эффективное управление потоками данных путем равномерного распределения нагрузки на коммутаторы и дает возможность оперативно реагировать на изменения в управляемой сети, например такие как: подключение/отключение коммутатора; обнаружение/обрыв линии связи между коммутаторами [5].

Анализ угроз безопасности в ПКС

Использование ПКС исключает ряд типичных атак, связанных с исключением из использования ряда классических протоколов маршрутизации, но так же добавляет и новые угрозы безопасности. Такие угрозы безопасности, можно разделить на 4 группы:

1. Канала данных - злоумышленник может, например, как анализировать трафик с целью нахождения персональных данных, так и исказить его.
2. Коммутаторов - контроль над одним коммутатором ПКС может предоставить злоумышленнику широкий спектр возможных атак: на другие коммутаторы, на трафик, на управляющий сервер/контроллер, на канал управления.
3. Канала управления - злоумышленник может нарушать взаимодействие управляющего сервера/контроллера с коммутаторами. Для предотвращения этого имеется встроенный протокол защиты управляющего трафика TLS, который так же может иметь уязвимости.
4. Управляющего сервера/контроллера – злоумышленник, получив доступ к серверу, может тем самым получить и полный доступ у управляющему ПО ПКС. Также на рынке представлено большое количество контроллеров ПКС, которые могут иметь свои уязвимости.

Анализ и практика показывает, что наибольшей угрозой является наличие в сети ПКС скомпрометированного коммутатора, т.е. коммутатора который находится под контролем злоумышленника. Процесс компрометации хорошо изучен, и имеются эффективные методы противодействия этому. Поэтому далее остановимся на угрозе наличия скомпрометированного коммутатора в сети ПКС.

Коммутатор в сети, находящийся под контролем злоумышленников, может осуществлять следующие, наиболее вероятные атаки [6, 7]:

1. Атаки на управляющий сервер/контроллер:
 - все пакеты скомпрометированным коммутатором перенаправляются на управляющий сервер/контроллер, якобы для анализа, тем самым перегружая его;
 - скомпрометированный коммутатор может передавать на управляющий сервер/контроллер ложную информацию о физическом состоянии сети, например об отсутствии существующей физической линии, либо о наличии несуществующей физической линии, тем самым искажая представление о топологии сети;
 - если в управляющей сети не используется, протокол защиты TLS, то у злоумышленников появляется возможность создавать фиктивные коммутаторы, тем самым влияя на процесс выбора маршрутов для потоков в сети.
2. Атаки на передаваемые пакеты/данные [8, 9]:
 - перенаправление копий всех пакетов на контролируемый злоумышленниками хост, с целью получения из них конфиденциальной информации;
 - перенаправление пакетов по ложным маршрутам, с целью создать перегрузку на некотором участке сети. В этом случае может произойти переполнение входного буфера комму-

татора, и пакеты для анализа будут целиком переправляться управляющему серверу/контроллеру;

- сброс пакетов;
- изменение заголовков пакетов, с целью их последующего сброса другими коммутаторами, тем самым компрометируя их;
- искажение показания счетчиков правил маршрутизации, с целью сокрытия фактов атак;
- переполнение таблицы потоков;
- задержка, модификация содержимого пакетов, нарушение их порядка следования.

Таким образом, исходя из представленного широкого диапазона возможных атак, требуются эффективные методы выявления таких скомпрометированных коммутаторов.

К явным признакам компрометации коммутатора можно отнести:

1. Не прохождение коммутатором процесса аутентификации устройства. Однако у злоумышленников имеется доступ к криптографическим ключам, и пройдя процедуру аутентификации, коммутатор будет считаться легитимным.

2. Наличие на коммутаторе правил маршрутизации, которые не установлены сервером/контроллером. Однако злоумышленники могут создавать поддельные таблицы правил маршрутизации, данные из которых могут быть переданы по запросу на управляющий сервер/контроллер, тем самым скрывая факт вмешательства.

3. Несоответствие значений счетчиков правил маршрутизации на коммутаторе с расчетными значениями. Сервер/контроллер может запросить значения счетчиков и проверить принцип сохранения потока. Но злоумышленники, так же могут подделывать значения счетчиков.

Как видно, использование методов основанных на выявлении простых признаках компрометации недостаточно.

Анализ механизмов, используемых в современных системах обнаружения скомпрометированных коммутаторов

Рассмотрим механизмы используемые в существующих, системах обнаружения скомпрометированных коммутаторов. Работа таких систем основана на наличии у сервера/контроллера полной информации о топологии сети, свойствах пакетов проходящих через сеть, и о правилах обработки сетевого трафика, установленных на коммутаторах. К таким механизмам можно отнести [10]:

- выявление некорректных выполнений существующих правил маршрутизации. Производится тестирование всех правил, установленных на всех коммутаторах, с помощью тестовых пакетов. Такой механизм, например используют в системе обнаружения ATPG [11];
- проверка маршрутов пакетов. Основана на сравнении теоретических и реальных маршрутов. Используется, например в PDMD [12];
- проверка корректности, целостности и неизменчивости передачи пакетов между входным и выходным коммутаторами сети. Такие пакеты пересылаются и сравниваются на сервере/контроллере. Используется в DYNAPFV [13];
- проверка работы новых правил маршрутизации. В коммутаторы добавляются новые правила, и через них пропускаются пакеты, которые обрабатываются этими правилами. Отслеживаются и проверяются пути этих пакетов. Механизм используется в FDWD [14];
- анализ и проверка согласованности сетевой статистики, путем проверки значений счетчиков правил маршрутизации коммутаторов. Анализируются только пути, покрывающие все вершины, для которых добавляются дополнительные правила маршрутизации, и анализируется только статистика этих правил. Используется в SPHINX [15].

Многие вышеописанные системы обнаружения скомпрометированных коммутаторов с успехом функционируют в сетях. Однако и у них встречаются существенные недостатки, например такие как:

- дополнительная нагрузка на сеть, вызванная действиями самих систем обнаружения, которая может приводить к перегрузкам в сети;

- не предусмотрен механизм анализа перегрузок в сети, которые могут встречаться довольно часто, вследствие чего сбросы пакетов связанные с перегрузкой, могут быть приняты за вредоносные сбросы;
- не возможность обнаружения кратковременных атак;
- влияние установки системами обнаружения дополнительных правил маршрутизации, на сам процесс обнаружения;
- стандартные изменения в топологии сети могут повлиять на процесс обнаружения атак;
- не возможность обнаружения сложных атак, производимых с использованием нескольких скомпрометированных коммутаторов;
- не учитываются многие известные способы сокрытия атак;
- проблемы с учетом легитимных сбросов пакетов;
- не всегда возможно точно установить скомпрометированные коммутаторы, например если легитимный окружен скомпрометированными; и др.

Разработка системы обнаружения скомпрометированных коммутаторов

Из выше приведенных данных, очевидна потребность в создании новых эффективных систем обнаружения скомпрометированных коммутаторов, так как в ряде случаев, существующие системы обнаружения не всегда являются эффективными.

На наш взгляд к таким системам должны предъявляться следующие, основные требования:

- высокая вероятность выявления наличия вредоносных действий в ПКС, среди которых обязательно должны быть:
 - обнаружение утечки данных на хосты злоумышленников;
 - выявление как постоянных, так и краткосрочных воздействий злоумышленников;
 - обнаружение скомпрометированных коммутаторов;
 - контроль перегрузок в сети, учитывающий и контролирующий дополнительную нагрузку на ПКС, оказываемую самой системы обнаружения.

Таким образом система обнаружения скомпрометированных коммутаторов, должна использовать следующие механизмы, основанные на добавлении новых правил маршрутизации, и анализе данных на управляющем сервере/контроллере:

- анализа изменений в топологии ПКС. Данный механизм отслеживает подключение/отключение как коммутаторов, так и связанных с ними физических линий. Использование его должно позволить обнаружить скомпрометированный коммутатор, который передает на управляющий сервер/контроллер ложную информацию о физическом состоянии сети, либо обнаружить проблемы с исправностью коммутатора;
- отслеживания перегрузок в ПКС, и в случае не превышения некоторого порога, задействуется механизм проверки корректности, неизменчивости, полноты и эффективности передачи пакетов. Данный механизм подразумевает пересылку всех входящих пакетов в ПКС, и исходящих пакетов из ПКС, на сервер/контроллер для анализа. Там производится сравнение реальных маршрутов прохождения пакетов с теоретическими, проверяется их целостность, при этом учитываются легитимные сбросы и анализируются задержки. Этот механизм должен позволить выявлять большой спектр атак, в том числе вредоносные задержки, краткосрочные атаки и утечку данных;
- в случае наличия перегрузок в ПКС, превышающих некоторый порог, или в случае выявления предыдущим механизмом наличия атак в сети, задействуется механизм проверки правил маршрутизации, последовательно проверяющий их на каждом коммутаторе ПКС. Для этого, в течение некоторого времени, пересылаются входящие и исходящие пакеты с такого коммутатора на сервер/контроллер, где происходит их анализ, при этом используются эталонные таблицы маршрутизации, хранящиеся на сервере/контроллере. Анализируются так же и задержки прохождения пакетов. Этот механизм предназначен для выявления скомпрометированных коммутаторов.

Вывод

На основе проведенного в статье анализа делается вывод о необходимости разработки новых, эффективных систем обнаружения скомпрометированных коммутаторов. Формируются требования, предъявляемые к таким системам. Отмечается, что акцент надо сделать на высокой вероятности выявления наличия вредоносных действий в ПКС, а именно: на обнаружении утечек данных, и на выявлении как постоянных, так и краткосрочных вредоносных воздействиях злоумышленников. Подчеркивается, что при этом надо учитывать и контролировать перегрузки в ПКС.

Для постарения эффективной системы обнаружения скомпрометированных коммутаторов предлагается использовать три механизма. Первый механизм анализирует изменение в топологии ПКС и выявляет скомпрометированный коммутатор, который передает на управляющий сервер/контроллер ложную информацию о физическом состоянии сети. Второй отслеживает перегрузки в ПКС, и в случае их отсутствия проверяет корректность передачи пакетов.

Третий выявляет скомпрометированный коммутатор путем анализа его входящих и исходящих пакетов на сервере/контроллере.

В статье дается обоснование эффективности такой системы обнаружения скомпрометированных коммутаторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Igor Sergeevich Konstantinov, Jurij Gennadievich Chashin and Sergej Aleksandrovich Lazarev, 2014. Simulation of the Software-Defined Network for a High-Performance Computing Cluster. *Research Journal of Applied Sciences*, 9: 704-706. <http://medwelljournals.com/abstract/?doi=rjasci.2014.704.706>
2. Jianmei Guo, Dingyu Yang, Norbert Siegmund, Sven Apel, Atrisha Sarkar, Pavel Valov, Krzysztof Czarnecki, Andrzej Wasowski, and Huiqun Yu. 2017. Data-efficient performance learning for configurable systems. *Empirical Software Engineering* (2017), 1–42.
3. Nunes, B., Mendonca, M., Nguyen, X., Obraczka, K., Turletti, T.: A survey of Software-Defined Networking: past, present, and future of programmable networks. *IEEE Commun. Surv. Tut. PP*(99), 1–18
4. Foundation O. N. OpenFlow Switch Specification v1.5.1. — 2015. <https://opennetworking.org/wp-content/uploads/2014/10/openflow-switch-v1.5.1.pdf>
5. Смелянский Р.Л. SDN&NFV - новые горизонты. 2015. ivk.cs.msu.ru/~sveta/Статья_для_CNEWS_2015_ЦПИКС_Смелянский.pdf
6. Towards fine-grained network security forensics and diagnosis in the sdn era / Haopei Wang, Guangliang Yang, Phakpoom Chinprutthiwong et al. // *Proceedings of the 2018 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security / ACM*. — 2018. — P. 3–16.
7. Pang C., Jiang Y., Li Q. Fade: Detecting forwarding anomaly in software-defined networks // *Communications (ICC), 2016 IEEE International Conference on / IEEE*. — 2016. — P. 1–6.
8. Securing data planes in software-defined networks / Tzu-Wei Chao, Yu-Ming Ke, Bo-Han Chen et al. // *NetSoft Conference and Workshops (Net-Soft), 2016 IEEE / IEEE*. — 2016. — P. 465–470.
9. Reins to the cloud: Compromising cloud systems via the data plane / Kashyap Thimmaraju, Bhargava Shastry, Tobias Fiebig et al. // *arXiv preprint arXiv:1610.08717*. — 2016.
10. Петров И.С. Системы обнаружения скомпрометированных коммутаторов в программно-конфигурируемых сетях. *Журнал Информационные технологии, издательство Новые технологии, Москва, 2019. Том 25, №3, с.131-142.*
11. Automatic test packet generation / Hongyi Zeng, Peyman Kazemian, George Varghese, Nick McKeown // *Proceedings of the 8th international conference on Emerging networking experiments and technologies / ACM*. — 2012. — P. 241–252.
12. Mohammadi A. A., Kazemian P., Pakravan M. R. Detecting malicious packet drops and misroutings using header space analysis // *Telecommunications (IST), 2016 8th International Symposium on / IEEE*. — 2016. — P. 521–526.

13. Dynamic packet forwarding verification in sdn / Qi Li, Xiaoyue Zou, Qun Huang et al. // IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing. — 2018.
14. How to detect a compromised sdn switch / Po-Wen Chi, Chien-Ting Kuo, Jing-Wei Guo, Chin-Laung Lei // Network Softwarization (NetSoft), 2015 1st IEEE Conference on / IEEE. — 2015. — P. 1–6.
15. Sphinx: Detecting security attacks in software-defined networks. / Mohan Dhawan, Rishabh Poddar, Kshiteej Mahajan, Vijay Mann // NDSS. — Vol. 15. — 2015. — P. 8–11.

Чашин Юрий Геннадиевич

Белгородский государственный университет, г. Белгород

К.т.н., доцент кафедры «Математического и программного обеспечения информационных систем»

Тел.: +7(4722) 30-12-11

E-mail: chashin@bsu.edu.ru

Лазарев Сергей Александрович

Белгородский государственный университет, г. Белгород

К.э.н., заместитель директора по научной и международной деятельности института «Инженерных и цифровых технологий»

Тел.: +7(4722) 30-12-11

E-mail: lazarev_s@bsu.edu.ru

УДК 621.397

Д.А. ЧЕРНОМОРЕЦ
D.A. CHERNOMORETS

ОБ ОЦЕНИВАНИИ РАЗМЕРА ОБЪЕКТА НА ЦИФРОВОМ ИЗОБРАЖЕНИИ

ABOUT ESTIMATING THE OBJECT SIZE ON A DIGITAL IMAGE

Работа посвящена решению задачи, возникающей при разработке систем видеонаблюдения, оценивания реального размера объекта по его размерам на изображении, полученном в результате видео и фото регистрации. Предложен подход к оцениванию размеров объектов, основанный использовании значений характеристик видеокамеры (эквивалентное фокусное расстояние объектива, размерность фотоматрицы) и расстояния до объекта. Показано, что предложенный подход позволяет получить адекватные оценки размеров объектов.

Ключевые слова: размер объекта, изображение, фокусное расстояние, фотоматрица, расстояние до объекта

The work is devoted to solving the problem which arise in the development of video surveillance systems, of estimating the real object size using its dimensions in the image obtained as a result of video and photo registration. An approach to estimating the objects size based on the use of the video camera characteristics values (the equivalent focal length of the lens, the dimension of the photo matrix) and the distance to the object is proposed. It is shown that the proposed approach makes it possible to obtain adequate estimates of the objects size.

Keywords: object size, image, focal length, photo matrix, distance to the object

Уровень развития средств вычислительной техники, а также средств видео и фото-регистрации позволяет в настоящее время разрабатывать и совершенствовать системы видеонаблюдения за различными объектами на морской поверхности. Применение данных систем обеспечивает повышение безопасности пребывания людей в зонах отдыха на побережье, повышение эффективности поисково-спасательных работ в морской акватории и др. [1-4].

В различных системах видеонаблюдения значительное внимание уделяется задаче идентификации объектов на наблюдаемой сцене [5-7]. Для решения данной задачи одной из важных характеристик наблюдаемых объектов является их размер, что проиллюстрировано на изображениях, приведенных на рисунке 1.

На рисунке 1 приведены фрагменты фотоснимков, содержащие следующие объекты: голова пловца (рисунок 1а), ограничивающий буй (рисунок 1б), спасательный плот (рисунок 1в). Каждый из данных объектов визуально имеет на изображениях приблизительно одинаковый размер (занимает на изображении приблизительно одинаковое количество пикселей (в ширину 60 пикселей)), что может вызвать некоторую проблему при их идентификации.



Рисунок 1 – Примеры объектов:

а – голова пловца, б – ограничивающий буй, в – спасательный плот

Идентификация объектов во многом зависит от результатов оценивания реальных размеров каждого из объектов. В работе для оценивания реальных размеров объектов, представленных на снимках, предлагается использовать значения характеристик видеокамеры (эквивалентное фокусное расстояние объектива, размерность фотоматрицы) и расстояния до объекта.

Эквивалентное фокусное расстояние объектива (эквивалент 35 мм) является одной из важных характеристик видеокамеры и соответствует фокусному расстоянию объектива видеокамеры при использовании светочувствительного элемента размером 24×36 мм [8]. В таблице 1 приведены примеры

значений эквивалентного фокусного расстояния f объективов фотокамер, а также соответствующие им углы обзора α в горизонтальной плоскости (размер фотоматрицы $m=36$ мм) и типы объектива:

$$\alpha = 2 \arctg (m / (2f)) . \quad (1)$$

Таблица 1 – Примеры эквивалентного фокусного расстояния

Эквивалентное фокусное расстояние, мм	Угол обзора в горизонтальной плоскости, град.	Тип объектива
24	73,7	Широкоугольный
35	54,4	Широкоугольный
50	39,6	Стандартный
85	23,9	Длиннофокусный
105	19,5	Длиннофокусный
135	15,2	Длиннофокусный
200	10,3	Длиннофокусный

Важной характеристикой видеокамеры, которую предлагается использовать в работе, является размерность фотоматрицы, определяемая количеством применяемых светочувствительных элементов (фотодиодов) по ее ширине и высоте). В настоящее время широко используются фотоматрицы следующих размерностей: 1280×720 пикселей (разрешение HD), 1920×1080 пикселей (разрешение Full HD), 2048×1152 пикселей (разрешение 2К), 3840×2160 пикселей (разрешение UltraHD 4К) [9].

В работах [10, 11] описаны подходы вычисления расстояний до объекта, основанные на использовании средств цифровой видео и фото-регистрации.

В данной работе для оценивания реального размера l объекта, представленного на фотоснимках, предлагается применять следующее соотношение [8]:

$$l = N_l \frac{md}{fN} \quad (м), \quad (2)$$

где N_l – ширина объекта на изображении (пиксели), f – эквивалентное фокусное расстояние объектива, N – размерность фотоматрицы по ширине (пиксели), d – расстояние до объекта (м), m – ширина светочувствительного элемента ($m=36$ мм).

На основании соотношения (2) на рисунках 2-4 построены графики зависимости оценки реального размера объекта от размера изображения объекта при различных значениях эквивалентного фокусного расстояния объектива, размерности фотоматрицы и расстояние до объекта.

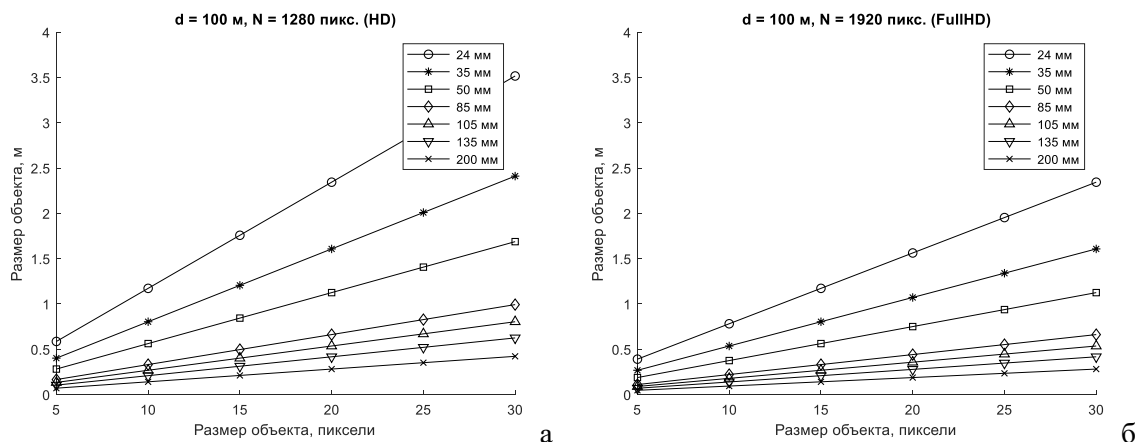


Рисунок 2 – Оценивание реального размера объекта при $d = 100$ м:
а – $N = 1280$ пикселей, б – $N = 1920$ пикселей

Графики, приведенные на рисунке 2, демонстрируют изменения оцениваемых размеров объекта при фиксированных значениях расстояние до объекта $d = 100$ м, а также размерности фотоматрицы $N = \{1280, 1920\}$ пикселей.

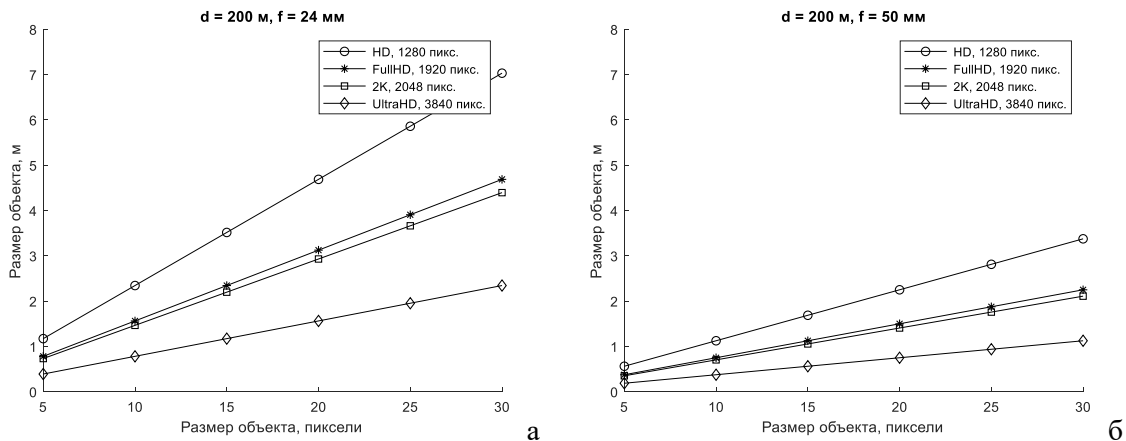


Рисунок 3 – Оценивание реального размера объекта при $d = 200$ м:
 а – $f = 24$ мм, б – $f = 50$ мм

Графики, приведенные на рисунке 3, демонстрируют изменения оцениваемых размеров объекта при фиксированных значениях расстояния до объекта $d = 200$ м, а также эквивалентного фокусного расстояния $f = \{24, 50\}$ мм.

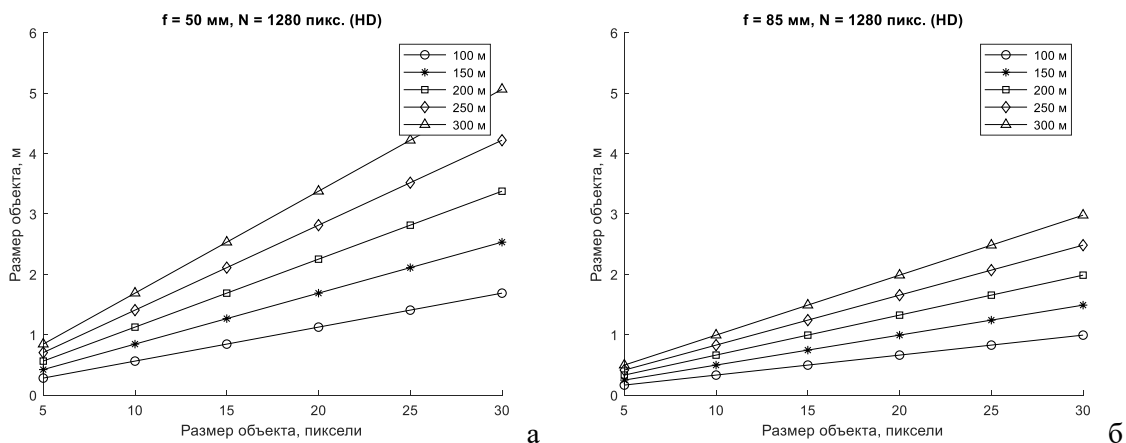


Рисунок 4 – Оценивание реального размера объекта при $N = 1280$ пикселей:
 а – $f = 50$ мм, б – $f = 85$ мм

Графики, приведенные на рисунке 4, демонстрируют изменения оцениваемых размеров объекта при фиксированных значениях размерности фотоматрицы $N = 1280$ пикселей, а также эквивалентного фокусного расстояния $f = \{50, 85\}$ мм.

На основании соотношения (2) оценим реальную ширину объектов, приведенных на рисунке 1, используя значения параметров фотосъемки. На фрагментах изображений, приведенных на рисунке 1, объекты (голова пловца, ограничивающий буй, спасательный плот) в ширину занимают приблизительно 60 пикселей. В таблице 2 приведены параметры фотосъемки данных объектов и оценки реальных размеров объектов.

Таблица 2 – Результаты фотосъемки объектов, приведенных на рисунке 1

Объект	Размерность фотоматрицы, пиксели	Эквивалентное фокусное расстояние, мм	Расстояние до объекта, м	Оценка ширины объекта, м
Голова пловца	3840	135	50	0,2
Ограничивающий буй	1920	200	180	1
Спасательный плот	1280	135	200	2,5

Отметим, что результаты оценивания, приведенные в таблице 2, соответствуют реальным размерам наблюдаемых объектов.

Таким образом, в работе показано, что объекты, имеющие совпадающие размеры на фотоснимках, при различных параметрах фотосъемки (эквивалентное фокусное расстояние объектива, размерность фотоматрицы, расстояние до объекта), в общем случае, имеют различные реальные размеры. Приведенный в работе подход к оцениванию реальных размеров объектов, зарегистрированных на фотоснимках, основанный на использовании значений характеристик видеокамеры (эквивалентное фокусное расстояние объектива, размерность фотоматрицы) и расстояния до объекта, позволяет получить адекватные оценки данных размеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дубина В.А., Фищенко В.К., Константинов О.Г., Митник Л.М. Интеграция спутниковых данных и наземных видеонаблюдений в системах мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 3. С. 214-220.
2. Жилияков Е.Г., Черноморец Д.А. Об информативности субполосного анализа потока изображений при обнаружении объектов. Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП-2020): сборник материалов VIII Международной научно-технической конференции (г. Белгород, 24–25 сентября, 2020 г.). – с. 65-68.
3. Serebryany A.N., Konstantinov O.G. New data on internal waves on the sea shelf based on combined monitoring with a panoramic camera and ADCP // Current problems in remote sensing of the Earth from space. 2020. Т. 17. № 6. С. 122-126.
4. Ursol D.V., Chernomorets D.A., Bolgova E.V., Chernomorets A.A. Objects Detection Based On The Sea Surface Video Fragments Cross-Correlation // Research Result. Information Technologies. 2022. Т. 7. № 2. С. 19-27.
5. Погожева М.П., Якушев Е.В., Терский П.Н., Глазов Д.М., Коршенко А.Н., Ханке Г. Методики мониторинга плавающего морского мусора (на примере Баренцева моря) // В сборнике: Современные методы и средства океанологических исследований (МСОИ-2021). Материалы XVII Всероссийской научно-технической конференции. Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН. 2021. С. 180-183.
6. Солбаков В.В., Зацева С.Н., Ивченко А.А., Становой В.В. О методике расчета области вероятного обнаружения нефтяного загрязнения на поверхности моря // Проблемы Арктики и Антарктики. 2016. № 4 (110). С. 5-13.
7. Федосов А.Н., Володин А.Н. Моделирование принятия решения в системах обеспечивающих обнаружения объектов на фоне взволнованной морской поверхности // В сборнике: Интеллектуальные системы, управление и мехатроника - 2017. Материалы III Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Научный редактор А.Т. Барабанов. 2017. С. 325-332.
8. Петров Д.В., Жилияков Е.Г., Черноморец Д.А., Болгова Е.В., Черноморец А.А. О выборе размеров прецедента в задаче обнаружения объектов на цифровых изображениях // Экономика. Информатика. 2022. Т. 49. № 2. С. 339-348.
9. Лушников Н.Д., Альтерман А.Д. Технология сверхвысокой четкости 4К // В сборнике: European Scientific Conference. сборник статей XVII Международной научно-практической конференции. 2019. С. 49-51.
10. Козлов В.Л. Способ измерения расстояний на цифровой фотокамере / Патент на изобретение RU 2485443 С1, 20.06.2013. Заявка № 2011151194/28 от 14.12.2011.
11. Шубникова И.С., Палагута К.А. Анализ способов и алгоритмов определения параметров объекта и расстояния до него по изображению // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2013. Т. 1. С. 352-355.

Черноморец Дарья Андреевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Аспирант кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий
Тел. (4722) 301300*2175
E-mail: chernomorets_d@bsu.edu.ru

УДК 631.396, 623.76.

А.А. ШИРЯЕВ, С.С. КУКУШКИН, И.И. ОЛЕЙНИК
A.A. SHIRYAEV, S.S. KUKUSHKIN, I.I. OLEINIK

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В БЕСПРОВОДНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ КОММУНИКАЦИЯХ

METHODS OF INCREASING THE EFFICIENCY OF DATA TRANSMISSION TECHNOLOGIES IN WIRELESS INFORMATION COMMUNICATIONS

В данной статье авторы рассматривают новые возможности повышения эффективности существующих и разрабатываемых систем обработки информации, обеспечения помехоустойчивости информационных коммуникаций при передаче, хранении и защите информации, которые появляются при применении современных прикладных математических методов, основу разработки которых составляет прикладная математическая теория конечных полей. Основное достоинство данных методов заключается в том, что они могут быть адаптированы в существующие системы передачи информации программными методами путем перепрограммирования их элементной базы в виде программируемых логических интегральных схем, микроконтроллеров и микропроцессоров.

Ключевые слова: передача информации в условиях помех; дополнительное кодирование замещающим троичным кодом; ограничения и возможности информационных технологий; защита информации; информационные коммуникации

In given article authors consider new opportunities to improve the efficiency of existing and developing information processing systems, to ensure the noise immunity of information communications during transmission, storage and protection of information, which appear when using modern applied mathematical methods, the basis of the development of which is the applied mathematical theory of finite fields. The main advantage of these methods is that they can be adapted into existing information transmission systems by software methods by reprogramming their element base in the form of programmable logic integrated circuits, microcontrollers and microprocessors.

Keywords: transmission of information under interference conditions; additional coding with a replacement ternary code; limitations and possibilities of information technologies; information protection; information communications

В настоящее время цифровое представление данных воспринимается как возможность решения многих проблем. Об этом, например, свидетельствуют такие руководящие документы, как Программа «Цифровая экономика Российской Федерации». И в то же время сами цифровые технологии нуждаются в совершенствовании.

В статье рассматриваются возможные решения, которые могут составить основу для разработки проблемно-ориентированных инновационных информационных технологий передачи, хранения, обработки и защиты информации. Они связаны с использованием понятий теории конечных полей [1] и системы остаточных классов (СОК) [2], которые ориентированы на разрешение существующих проблем защищённой передачи данных [3]. Основу разработки инновационных технологий передачи информации составляет предлагаемое нетрадиционное представление передаваемых сообщений, данных и цифровых сигналов (далее сообщений (X)) образами-остатками (b_i) и другими эквивалентными структурно-алгоритмическими преобразованиями первого этапа (САП-1) [4-7]. Сущность используемой при этом когнитивной (знаниепорождающей) модели САП-1 заключается в том, что вместо традиционной формулы представления значения числа X , представляющего собой результат кодирования сообщений:

$$X = m_i l_i + b_i, \quad (1)$$

используют сжатую её запись в виде сравнения [4]:

$$X \equiv b_i \pmod{m_i}, \quad (2)$$

где b_i – образ-остаток, полученный в результате операции сравнения X по модулю m_i (он представляет собой значение остатка, полученного при использовании арифметической операции деления числа X на число m_i , при этом символом « \equiv » обозначено понятие «тождественно равно») [1,4-7]. Сжатой математической записью (2) становится потому, что в ней нет неполного частного l_i , присутствующего в формуле (1). Далее в соответствии с математической теорией конечных полей [5] можно перейти, руководствуясь простейшей логикой синтеза новых инновационных информационных технологий и технических решений, к системе сравнений по нескольким модулям сравнения, например, $m_1 = 2^n - 1$, $m_2 = 2^n$, $m_3 = 2^n + 1$. Тогда вместо системы уравнений, использующей формализованное описание (1), получаем систему сравнений (СОК):

$$\begin{aligned} X &\equiv b_1 \pmod{m_1} \\ X &\equiv b_2 \pmod{m_2} \\ X &\equiv b_3 \pmod{m_3}, \end{aligned} \quad (3)$$

При таком представлении значения закодированного сообщения X появляются требования к выбору модулей сравнений, которые в соответствии с классической теорией конечных полей Э. Галуа [1,4] должны отождествляться с взаимно-простыми числами $(m_1, m_2) = 1$, $(m_2, m_3) = 1$, $(m_1, m_3) = 1$. Это означает, что числа m_1 , m_2 , m_3 не должны иметь других общих делителей, кроме 1. Другая неприятность, наличие которой не позволило ранее использовать математические основы сжатия при представлении и передаче информации, заключалась в сложности обратного алгоритма восстановления, когда необходимо от образов-остатков перейти к исходному традиционному представлению данных. Её основу составляет классическая китайская теорема об остатках (КиТО), которую относят к числу наиболее эффективных элементов криптографии [3].

Для случая выбора модулей, $m_1 = 2^n - 1$ и $m_3 = 2^n + 1$, которые являются оптимальными при дополнительном кодировании передаваемой информации, восстановленное значение сообщения X при использовании классического метода получают при использовании следующей формулы КиТО [1,4]:

$$X = m_3 m'_3 b_1 + m_1 m'_1 b_3 \pmod{m_1 \times m_3}, \quad (4)$$

где m'_1 и m'_3 – мультипликативно обратные элементы, определяемые на основе выполнения следующих сравнений: $(m_1 m'_1 \equiv 1 \pmod{m_3})$ и $(m_3 m'_3 \equiv 1 \pmod{m_1})$.

Если рассматривать стандартную байтовую структуру слов, имеющую шкалу представления значений кодовых конструкций Ш, определяемую, как: 0 – 255, то в соответствии с предлагаемым преобразованием, необходимо найти такие два числа с минимальной разницей между собой, на которые исходное число 255 делилось бы без остатка. Для приведенного примера это модули сравнения $m_1 = 15$ и $m_3 = 17$ ($15 \times 17 = 255$). Не сложно заметить, что в структуре данного разложения присутствует следующее известное алгебраическое тождество:

$$2^{2n} - 1 = (2^n - 1)(2^n + 1), \quad (5)$$

где $2n = N$ – это разрядность представления двоичным кодом значений сообщений X .

В свою очередь, алгебраическое представление числа $(2^n - 1)$ можно разложить на следующие сомножители:

$$2^n - 1 = (2^{n/2} - 1)(2^{n/2} + 1). \quad (5')$$

При больших значениях N , определяющих разрядность кодовых слов, представляющих сообщение X , этот процесс может быть продолжен до получения минимального модуля сравнения равного $(2^1 + 1) = 3$: $m_{1j} = 3$.

Для восстановления сообщений в их исходном виде в соответствии с алгоритмом КиТО (4) необходимо найти мультипликативно обратные элементы для модулей сравнения $m_1 = 15$ и $m_3 = 17$: $17 \times 8 = 136 \equiv 1 \pmod{15}$; $15 \times 8 = 120 \equiv 1 \pmod{17}$. Следовательно, $m'_1 = 8$ и $m'_3 = 8$. Для случая байтовых слов и выбранных оптимальных модулей сравнения $m_1 = 15$ и $m_3 = 17$ при значениях принятых образов-остатков $b_1 = 11$ и $b_3 = 14$ соответствующий алгоритм китайской теоремы об остатках имеет вид:

$$\begin{aligned} X &= 136 b_1 + 120 b_3 \pmod{15 \times 17 = 255} = 136 \times 11 + 120 \times 14 = \\ &= 1496 + 1680 = 3176 \equiv 116 \pmod{255}. \end{aligned} \quad (6)$$

В результате получили восстановленное исходное значение сообщения $X = 116$. Но такой способ восстановления оказывается непригодным для использования в существующих системах передачи данных. Основные причины этого заключены в следующем: 1) он сложен для реализации,

прежде всего, из-за необходимости нахождения мультипликативных элементов для модулей сравнения $m_1 = 15$ и $m_3 = 17$, которые равны: $m'_1 = 8$ и $m'_3 = 8$, а также из-за большого количества операций умножений и деления; 2) он не является адаптивным, что проявляется, например, в необходимости обновления алгоритма (6) каждый раз, когда меняются значения модулей сравнения.

Для того, чтобы упростить процедуру обратного восстановления предлагается использовать адаптивный алгоритм конструктивной теоремы об остатках (КтТО) [4-7]. В этом случае сохраняется основное условие, необходимое для прикладного использования разработанных технологий дополнительного кодирования. Оно заключается в обеспечении значительного упрощения операций представления данных их образами-остатками. Суть предложений, имеющих эту направленность, заключается в следующем: 1) для нахождения образов-остатков b_2 по модулю $m_2 = 2^n$, где $2n = N$ - разрядность исходного двоичного кодового слова, необходимо взять только n его младших разрядов (при байтовом представлении - 4 младших разряда); 2) для определения остатков b_1 по модулю $m_1 = 2^n - 1$, необходимо сложить в $(n+1)$ -разрядном сумматоре по модулю 2 младшее и старшее полуслво, при этом содержимое $(n+1)$ -ого разряда переносится и складывается по модулю 2 с первым (самым младшим) разрядом; 3) для определения остатков b_3 по модулю $m_3 = 2^n + 1$, старшее полуслво перед суммированием с младшим полуслвом инвертируется, а далее сложение осуществляется по правилам п.2., при этом к полученной сумме прибавляется число 2, имеющего вид $\langle 10 \rangle_2$ - в двоичном представлении).

Для замены алгоритма КиТО предлагается адаптивный алгоритм (КтТО), который по форме подобен формуле основной теоремы арифметики (1):

$$X = m_i l_i + b_i.$$

На основе КтТО реализуют следующий способ восстановления неизвестного неполного частного l_i . Для этого необходимо найти следующие разности: $n_{13} = |m_1 - m_3|$ и $\Delta_{13} = b_1 - b_3$, а затем определить условие делимости значения $(km_i \pm \Delta_{13})$ на n_{12} без остатка. Для рассмотренного ранее случая $m_1 = 15$ и $m_3 = 17$ и принятых образов-остатков $b_1 = 11$ и $b_3 = 14$ исходные данные - это $n_{13} = |m_1 - m_3| = 2$ и $\Delta_{13} = b_1 - b_3 = 11 - 14 = -3$. Делимость на $n_{13} = 2$ выполняется при $k = 1$ в виде $n_{13} |(m_i + \Delta_{13})$ - читается, как: $(m_i + \Delta_{13})$ делится на n_{13} без остатка. Это означает, что найдены неполные частные l_1 и l_3 . Они равны:

$$l_1 = \frac{m_2 + \Delta_{12}}{n_{12}} = \frac{17 - 3}{2} = 7; l_2 = \frac{m_1 + \Delta_{12}}{n_{12}} = \frac{15 - 3}{2} = 6, \quad (7)$$

В результате получим восстановленное значение переданного сообщения X :

$$X = m_1 \times l_1 + b_1 = m_2 \times l_2 + b_2 = 15 \times 7 + 11 = 17 \times 6 + 14 = 116 \quad (8)$$

Выполнение второго равенства является свидетельством того, что восстановление выполнено правильно. В этом также заключено и дополнительное преимущество использования алгоритма КтТО вместо классического его аналога КиТО. Оно заключается в возможности контроля достоверности восстановленных значений сообщений X .

При этом отсутствует основное ограничение, заключающееся во взаимной простоте выбранных модулей сравнения. При использовании КтТО модули сравнения могут быть выбраны в виде: $M_1 = m_1 p$ и $M_2 = m_2 p$, где p - простое число. В этом случае также обеспечивается возможность однозначного восстановления, поскольку при $n_{12}^* = |m_1 p - m_2 p| = 2p$ и $\Delta_{12}^* = pb_1 - pb_2 = p\Delta_{12}$ выполняются условия делимости $km_i \pm \Delta_{12}$ на n_{12} без остатка при значении k , кратном p : $kpm_i \pm p\Delta_{12}$ на pn_{12} .

$$X = \begin{cases} 1) M_1 \cdot \Delta / n + b_1, \Delta = b_1 - b_2 \geq 0; n | \Delta \\ 2) M_1 (M_2 + \Delta / n) + b_1, \Delta < 0; n | \Delta \\ 3) M_1 \left(\frac{M_2 + \Delta}{n} \right) + b_1, \Delta < 0, \Delta > 0; n | (M_2 + \Delta) \end{cases} \quad (9)$$

В результате не только удовлетворяются предъявляемые требования по оперативности восстановления переданных значений сообщений X : алгоритм отличается простотой и универсальной формой, не зависящей от значений модулей сравнения m_1 и m_2 , а также возможностью дополнительного контроля достоверности значения восстановленного сообщения X .

Существует возможность перехода рассмотренного метода дополнительного кодирования сообщений с использованием образов-остатков (САП-1(о)) эквивалентному САП первого уровня (САП-1(п)). Его основное преимущество заключается в простоте дополнительного кодирования передаваемой информации. Алгоритм, реализующий САП-1(п) предполагает разделение исходного кодового слова X на кодовые сегменты, которыми, к примеру, являются старшее B_i и младшее A_i полуслова. Затем их переставляют местами (рисунок 1). В результате этого получаем закодированные значения C_i . Если исходная информация обладает внутренней избыточностью, то при приёме данных и последующем их восстановлении они воспринимаются так, что минимальное кодовое расстояние в метрике Евклида между соседними закодированными значениями увеличивается в $k = d_{САП} / d_{исх}$ раз. Следовательно, в соответствии с теорией помехоустойчивого кодирования появляется возможность обнаружения и исправления ошибок передачи. Но для этого необходимо выделить те фрагменты временных участков представления закодированных значений, которые заключены между разрывами первого рода, образованными соседними закодированными значениями C_i и C_{i+1} . С этой целью проверяют условия выполнения следующего неравенства:

$$\Delta C_i = |C_i - C_{i+1}| \geq 0,8 \times 2^N, \quad (10)$$

где N – разрядность представления значений сообщений кодовым словом.



Рисунок 1 – Основные операции предлагаемого алгоритма дополнительного помехоустойчивого кодирования с использованием структурно-алгоритмических преобразований (САП-1(п)) и графические результаты достигаемого при этом комплексного положительного результата

Однако при таком упрощении когнитивной модели нетрадиционного представления сообщений образами-остатками теряется возможность дополнительного контроля достоверности получаемой информации на основе равенства абсолютных разностей первого и второго порядков между соответствующими значениями: $\Delta b_{1i} = b_{1i} \pmod{m_1} - b_{1(i+1)} \pmod{m_1}$ и $\Delta b_{3i} = b_{3i} \pmod{m_3} - b_{3(i+1)} \pmod{m_3}$. При этом также не могут быть использованы другие преимущества представления данных в системе остаточных классов (СОК), связанные с повышением быстродействия вычислений и распараллеливанием потоков передаваемых сообщений.

При использовании алгоритма дополнительного кодирования САП-1(п) также предельно просто может быть реализован и универсальный алгоритм восстановления (декодирования) значений C_i . Для этого достаточно снова полуслова A_i и B_i переставить местами, в результате чего мы вернём их на свои прежние места. Один из системных законов утверждает, что «за универсальность подхода приходится расплачиваться потерями в эффективности использования» [9]. Поэтому для каждого из предлагаемых САП первого этапа (САП-1) разработан не один, а несколько алгоритмов обратного восстановления (декодирования): один из них рассмотренный универсальный (жесткий), а второй – частный (мягкий).

Они отличаются тем, что использование универсального алгоритма, основу которого составляет адаптивный алгоритм КтТО и обратная перестановка полуслов при обратной операции САП-1(п) (ОСАП-1(п)) возможны всегда и при любой передаваемой информации. Они не зависят от специфических особенностей передаваемой информации, проявляющихся, например, в виде наличия корреляционной взаимосвязи между соседними значениями закодированных сообщений C_i и C_{i+1} .

Второй алгоритм (или группа алгоритмов) восстановления (декодирования) сообщений ориентирован (ориентированы) на выявление специфических особенностей передаваемой информации. В том числе и тогда, когда таких априорных сведений нет. Но при приёме за счёт того, что присутствие такой специфической особенности выявляют на основе результатов «жесткого» декодирования. О выявленной особенности у наблюдаемого фрагмента восстановленных сообщений информируют «мягкий» декодер, который внутри его обнаруживает и исправляет ошибки передачи. Таким образом, помимо повышения информативности и помехозащищённости передаваемых данных реализуют ещё и возможность оценивания (мониторинга) состояния беспроводного канала связи.

Необходимо также отметить, что специфические особенности проявляются у подавляющего большинства источников цифровой информации. При этом появляется возможность выделения из принятых сообщений дополнительных данных – инвариантов. Некоторые из них, например, оказываются связанными со следующими особенностями: 1) с групповым свойством равноостаточности преобразованных значений данных и сообщений, заключенных между разрывами, которые определяют на основе выполнения следующих неравенств: $\Delta C_i = |C_i - C_{i+1}| > 0,8 \text{ Ш}$ (для байтовых слов шкала представления значений кодовых слов $\text{Ш} = 2^8 = 256$); 2) с обнаружением и исправлением ошибок передачи сообщений на временных участках, заключенных между соседними разрывами ΔC_i и ΔC_{i+1} , определяемыми на основе выполнения неравенств (10).

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы: 1) предлагаемые методы и технологии САП-1 являются органичным дополнением к существующим способам и предложениям, позволяющим повысить показателями скорости передачи и достоверности приёма информации алгоритмическими методами; 2) их использование позволит существенно увеличить эффективность уже реализованных методов и технологий, способствуя при их совместном применении улучшению достигнутых показателей эффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лидл Р., Нидеррайтер Г. Конечные поля. В 2-х томах. Пер с англ. М.: Мир, 1988. 882с.
2. Торгашев В.А. Система остаточных классов и надежность ЦВМ. М.: Сов. Радио, 1973. 120 с.
3. Введение в криптографию. Под общ. ред. В.В. Ященко. М., МЦНМО, ЧеРо, 1998. 271 с.
4. Кукушкин С.С. Теория конечных полей и информатика: В 2т. - т.1: Методы и алгоритмы, классические и нетрадиционные, основанные на использовании конструктивной теоремы об остатках. - М.: МО РФ, 2003. - 284с.
5. Кукушкин С.С., Гладков И.А., Чаплинский В.С. Методы и информационные технологии контроля состояния динамических систем - М.: МО РФ, 2008, - 327с.
6. Кукушкин С.С. Математические методы преобразования и обработки измерительной информации при испытаниях и штатной эксплуатации ракетно-космической техники - М.: ВА РВСН им. Петра Великого, 2009, - 276с.

7. Информационно-измерительное обеспечение натуральных испытаний сложных технических комплексов/ Ю.Г. Булычев, В.В. Васильев, Кукушкин С.С. и др. - М.: Машиностроение-Полет, 2016. - 440с.

Ширяев Алексей Александрович

АО «ЦНИИмаш», г. Королёв

Главный специалист по вопросам эксплуатации НКИ космодрома «Восточный»

Тел.: +7 (495) 513-43-25; Моб.: +7(903) 791-03-41

E-mail: a.shyriaev@mail.ru

Кукушкин Сергей Сергеевич

«НИИ КС - филиал АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», г. Королёв

Главный научный сотрудник

Д.т.н., профессор, заслуженный изобретатель РФСР

Тел. моб.: +7(905) 539-46-26

E-mail: adaptermetod@mail.ru

Олейник Иван Иванович

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет».

к.т.н., доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

Тел. Моб.: +7(905) 878-18-48

E-mail: oleinik_i@bsu.edu.ru

УДК 378.147

Н.В. ЩЕРБИНИНА
N.V. SHCHERBININA

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ АВИАЦИОННЫХ СИМУЛЯТОРОВ

GENERAL PRINCIPLES OF AVIATION SIMULATORS DEVELOPMENT

В статье рассмотрены общие принципы создания авиационных симуляторов с использованием методов математического моделирования. Приведено описание создания параметрической модели летательного аппарата, перечислены математические методы, которые использованы для симуляции динамики полета.

Ключевые слова: математическое моделирование, симуляция, аэродинамика, динамика полета, авиационный симулятор.

The article discusses the general principles of creating aviation simulators using mathematical modeling methods. The description of the creation of a parametric model of an aircraft is given, the mathematical methods that are used to simulate the flight dynamics are listed.

Keywords: mathematical modeling, simulation, aerodynamics, flight dynamics, flight simulator.

Одной из классических задач компьютерной симуляции является симуляция полета самолета. Физические принципы полета были хорошо изучены еще в первой половине 20 века, были разработаны математические методы анализа аэродинамических характеристик, прочностных свойств и динамики поведения летательных аппаратов (ЛА), а с появлением вычислительных машин разработанную научную базу стали использовать для создания имитационных моделей полета ЛА. Новые возможности, которые дала вычислительная техника, стали использоваться для инженерных задач в авиационной промышленности и обучении пилотов. С развитием компьютерной техники увеличилась сложность и глубина симуляции физических процессов, имитирующих полет и функционирования ЛА. Современные авиационные симуляторы являются сложнейшими программными комплексами, которые могут в точности смоделировать процесс полета в различных условиях среды, работу оборудования ЛА, отказы и смоделировать различные ситуации, которые невозможно безопасно отработать в реальном полете. Таким образом, современные программные комплексы авиационных симуляторов способны решать сложные инженерные задачи и незаменимы в обучении авиационным профессиям. В настоящее время процесс обучения пилотов уже невозможно представить без применения авиационных тренажеров.

Развитие индустрии вычислительной техники привело к появлению мощных и доступных персональных компьютеров, позволяющих выполнять вышеописанные задачи. А развитие индустрии компьютерных игр способствовало появлению игровых авиационных симуляторов, которые по совокупности решаемых задач, не только не уступают современным профессиональным тренажерам, но иногда и превосходят их, например, моделируя повреждения ЛА и его поведение с учетом таких повреждений. В данном контексте интересно рассмотреть подобный игровой авиасимулятор “Ил-2 Штурмовик: Великие сражения” нового поколения, созданный российской студией разработки компьютерных игр 1С game studios [1].

Пример авиационного симулятора “Ил-2 Штурмовик” интересен еще и тем, что в нем симулируются модели летательных аппаратов 40-х годов 20 века, образцов которых уже не существует в реальном мире, следовательно, перед разработчиками стоит задача не просто перенести характеристики летательных аппаратов в компьютерную симуляцию, а рассчитать их с помощью математического моделирования и получить характеристики образцов уже не существующей авиационной техники.

Задачи инженеров, разрабатывающих авиасимулятор, условно можно разделить на две большие группы:

Создание параметрической модели летательного аппарата, включающей площадную, инерционно-массовую модели, модель контактных точек, модель коллизий.

Симуляция полета в реальном времени, имитирующая поведение ЛА, с учетом заданных параметров полета, получение итоговых его динамических характеристик.

Создание параметрической модели летательного аппарата

Алгоритм создания параметрической модели ЛА включает ряд этапов по получению данных о моделируемом ЛА. Обязательным этапом является сбор исчерпывающих исходных данных о данном самолете. Для этого используются любые доступные источники, например: техническая документация конструкторских бюро и заводов изготовителей, отчеты об испытаниях, чертежи, и даже фотографии, исторические статьи, и мемуары (рисунок 1).

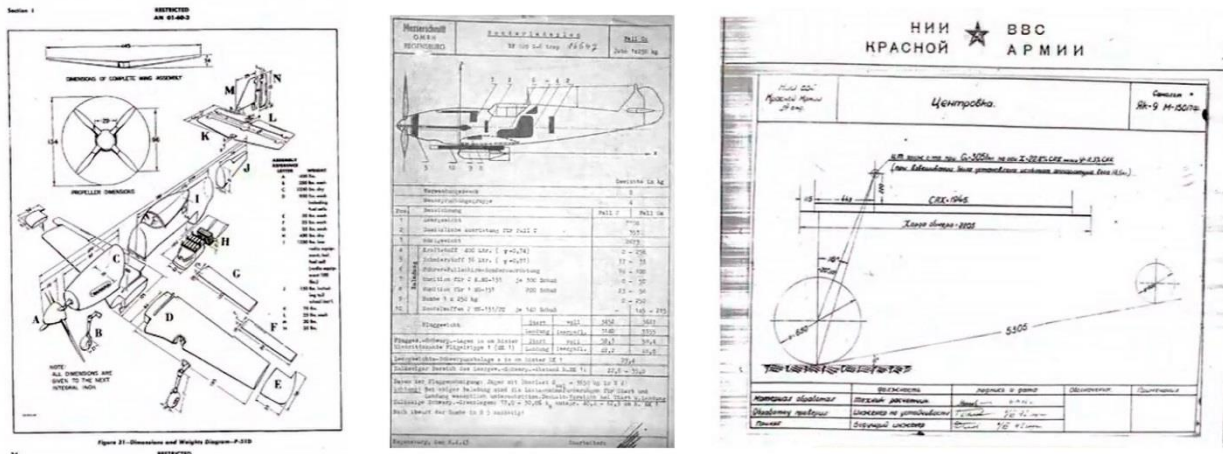


Рисунок 1 – Пример исторических документов

На следующем этапе на основе исходных данных инженеры создают пространственную трехмерную модель ЛА для получения точных параметров объекта.

На основе снятых с трехмерной модели данных получают: модель площадей составных частей самолета (рисунок 2), инерционно-массовую модель, модель контактных точек, модель коллизий (объемно-пространственная модель составных элементов самолета для расчета взаимодействия с внешними объектами).

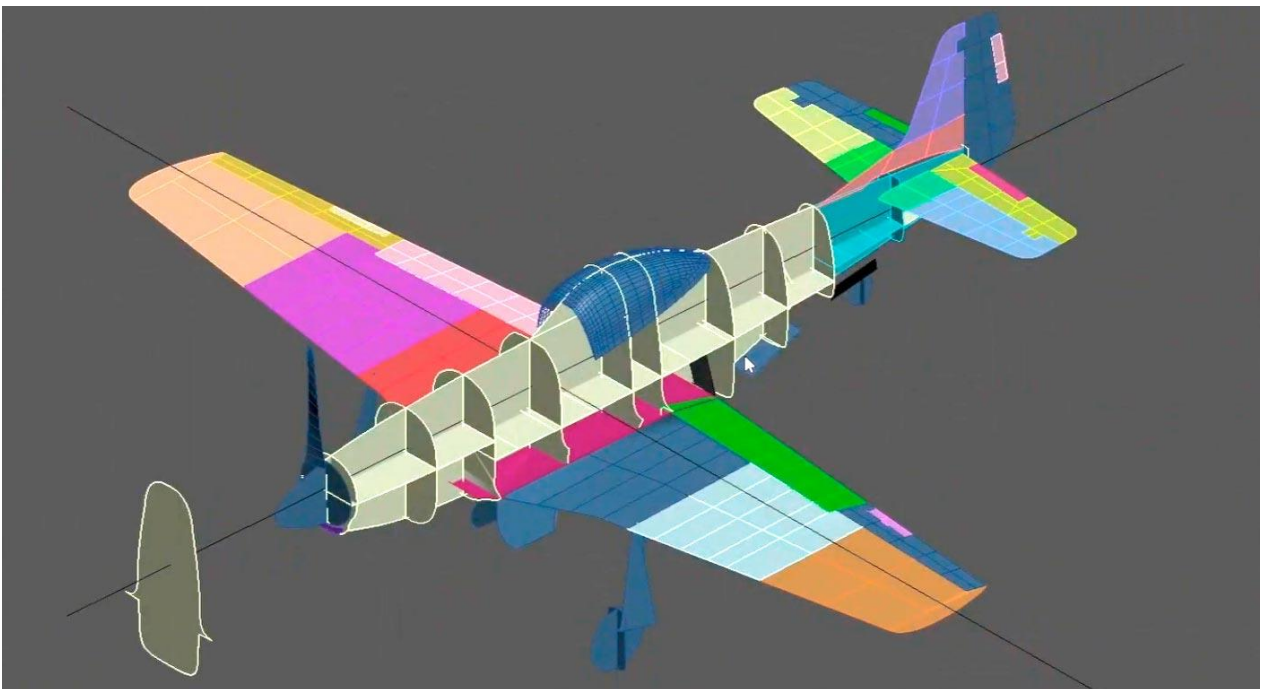


Рисунок 2 – Визуализация моделей площадей самолета

Модель площадей используется для расчета аэродинамики самолета, площадные характеристики – это основа расчета таких аэродинамических сущностей как подъемная сила и различных видов аэродинамического сопротивления.

Инерционно-массовая модель – это совокупность данных об объемах, массах и пространственных координатах составных частей самолета, используется как в аэродинамических расчетах, так и в расчетах поведения самолета, таких как статическая и динамическая устойчивость в полете, различные виды управляемости и другие параметры динамики полета (рисунок 3).

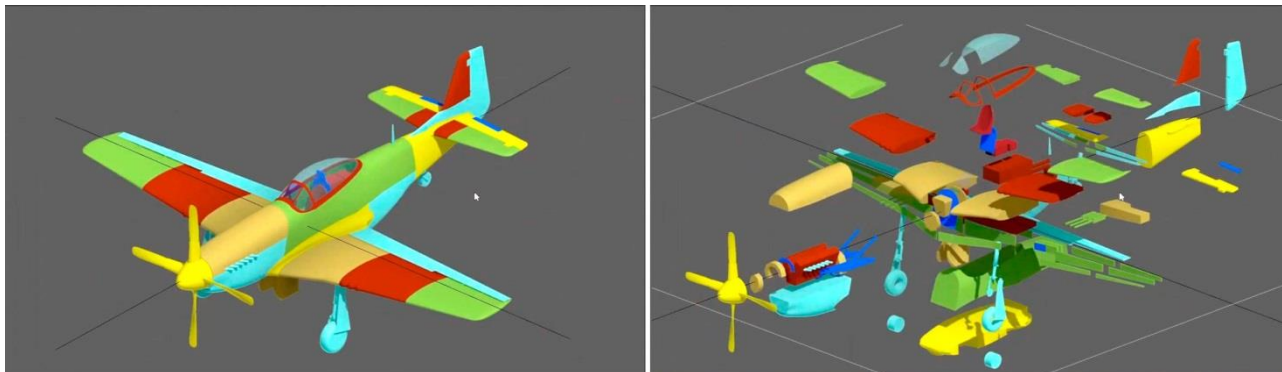


Рисунок 3 – Составные части инерционно-массовой модели

Модель контактных точек (рисунок 4) и модель коллизий (рисунок 5) используются для моделирования поведения самолета и его составных частей в процессе контакта с земной поверхностью и другими объектами виртуального мира.

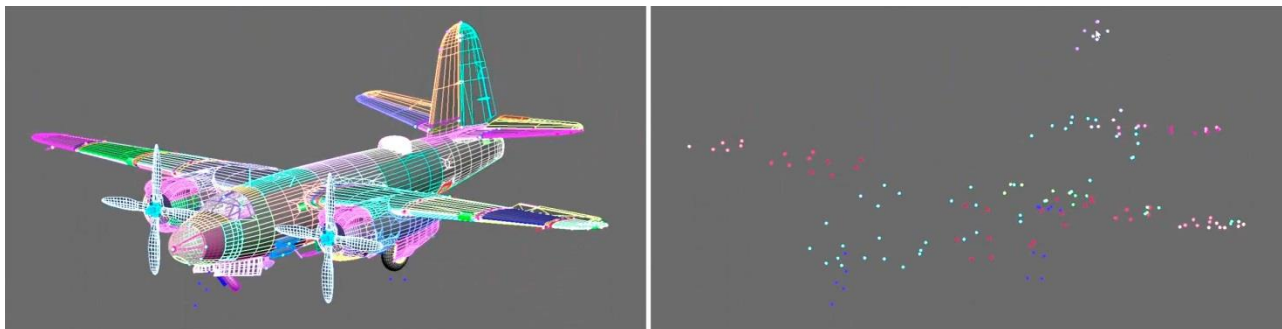


Рисунок 4 – Расположение контактных точек на модели

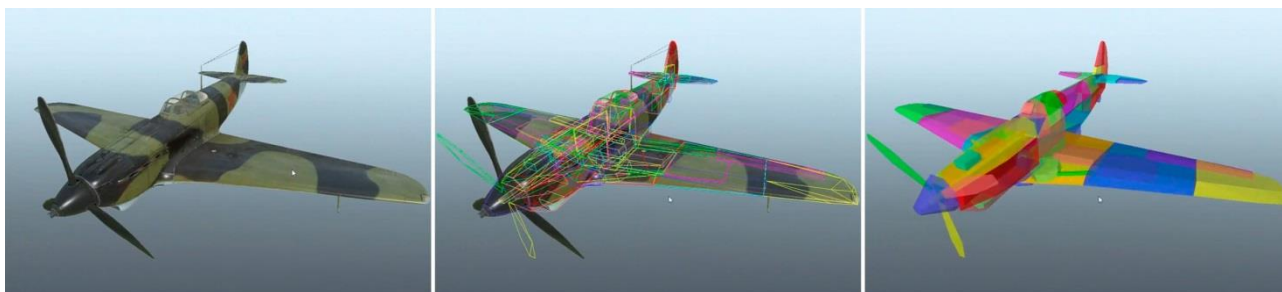


Рисунок 5 – Связь трехмерной модели и модели коллизий

Основные принципы симуляции полета

Построенная параметрическая модель ЛА и математический аппарат аэродинамической науки позволяют создать компьютерную программу для моделирования поведения ЛА в пространстве и времени, моделировать работу систем и оборудования самолета, моделировать динамику полета ЛА в различных условиях, такая компьютерная программа и является авиационным симулятором (рисунок 6).



Рисунок 6 – Процесс симуляции контакта с поверхностью в игровом мире

Для симуляции полета ЛА используются различные математические методы и алгоритмы, такие как:

1. Методы моделирования аэродинамики и динамики полета - позволяют определить силы, действующие на поверхность самолета в зависимости от скорости, угла атаки, отклонения составных частей самолета, условий среды и погоды.

Основными математическими методами моделирования аэродинамики являются уравнения Навье-Стокса, которые описывают движение жидкости или газа. Они используются для расчета силы аэродинамического сопротивления, подъемной силы, момента и т.д. Для решения этих уравнений используются численные методы, такие как метод конечных элементов, метод конечных объемов, метод конечных разностей и другие. Кроме того, в методах моделирования аэродинамики используются математические модели, такие как модель потенциального течения, модель турбулентности и другие, модель спутного следа (рисунок 7), которые позволяют упростить решение задач и получить достаточно точные результаты симуляций.

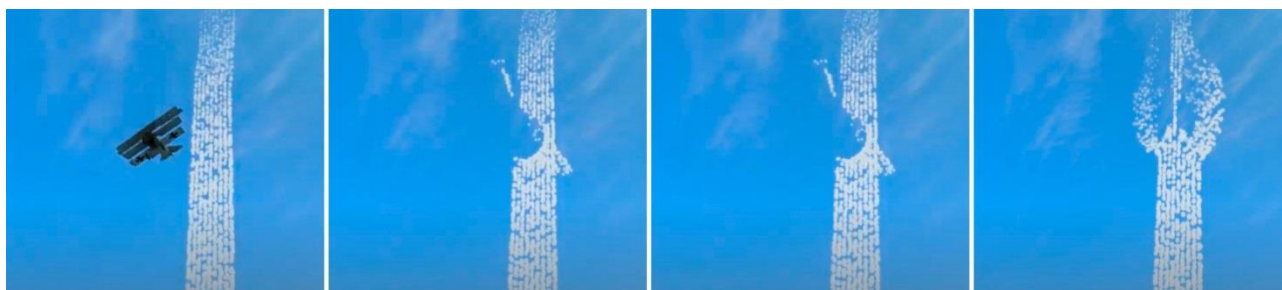


Рисунок 7 – Симуляция формирования спутного следа

2. Методы моделирования динамики твердого тела - используются для моделирования движения самолета в трехмерном пространстве и определения его ориентации и скорости.

3. Методы численного интегрирования - используются для решения уравнений движения самолета и определения его траектории.

4. Методы моделирования систем управления - позволяют симулировать работу различных систем управления самолетом, таких как аэродинамические рули, интерцепторы, закрылки и предкрылки, аэродинамические тормоза и т.д.

5. Методы моделирования приборного оборудования - симулируют работу приборов и оборудования ЛА, таких как электрическая система, топливная система, гидравлика, кислородное оборудование и т.п.

6. Методы моделирования двигателя и винта - симулирует работу двигателя внутреннего сгорания, и принципы передачи мощности на воздушный винт в зависимости от заданных условий, работу реактивного двигателя.

7. Методы моделирования систем автоматического управления - позволяют симулировать работу автоматических систем управления, таких как автопилот или управление самолетом средствами искусственного интеллекта.

8. Методы моделирования погодных условий - позволяют симулировать различные погодные условия: ветер, градиент ветра, температура воздуха, давление, осадки.

9. Методы моделирования аварийных ситуаций - позволяют симулировать различные аварийные ситуации, такие как отказы и повреждения двигателя, системы управления, топливной системы, электросистемы и пр.

Вышеперечисленные методы используются компьютерной программой для расчетов в реальном времени, тем самым обеспечивая непрерывную симуляцию полета и работы систем ЛА.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что современные авиационные симуляторы являются хорошим примером того, как математический аппарат с применением вычислительной техники может применяться для решения прикладных задач, обеспечивая высокий уровень симуляции сложных процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Студия разработки компьютерных игр 1С game studios. – Режим доступа: <https://1cgs.net/>
2. Берс Л. Математические вопросы дозвуковой и околозвуковой газовой динамики. – М.: Издательство иностранной литературы, 1961. – 208 с.
3. Петров К.П. Аэродинамика элементов летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1985. – 272 с.
4. Бюшгенс Г.С., Студнев Р.В. Динамика самолета. Пространственное движение. – М.: Машиностроение, 1983. – 320 с.
5. Аржаников Н.С., Садейкова Г.С. Аэродинамика летательных аппаратов. – М.: Высшая школа, 1983. – 359 с.

Щербинина Наталья Владимировна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
К.т.н., доцент, доцент кафедры информационных и робототехнических систем
E-mail: shcherbinina@bsu.edu.ru
Тел: +7-952-423-06-09

УДК 681.3.06

Ш.Н. ЮСУПОВ
SH.N. YUSUPOV

РЕКОНСТРУКЦИЯ СЖАТЫХ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ ЗОНДИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРОСС-СПЕКТРАЛЬНОГО МНОГОСЛОЙНОГО УСЛОВНОГО СЛУЧАЙНОГО АНАЛИЗА

RECONSTRUCTION OF COMPRESSED MULTISPECTRAL SENSING DATA USING CROSS-SPECTRAL MULTILAYER CONDITIONAL RANDOM ANALYSIS

Широкополосный спектр содержит больше информации, чем может обнаружить человеческий глаз. Спектральная информация с разных длин волн может предоставить уникальную информацию о внутренних свойствах объекта. С недавних пор на смартфонах используются системы формирования изображений с малым временем сбора данных. Для использования стратегии сжатого зондирования требуются надежные алгоритмы реконструкции, которые могут реконструировать сигналы с матрицы камеры. В этой работе рассматривается подход кросс-спектрального многослойного условного случайного поля (CS-MCRF) для разреженной реконструкции данных многоспектрального компрессионного зондирования в многоспектральных системах визуализации стереоскопического компьютерного зрения. CS-MCRF будет использовать информацию между соседними полосами спектра, чтобы лучше использовать доступную информацию для реконструкции. Этот метод был оценен с использованием смоделированных сжатых данных мультиспектральной визуализации. Результаты показывают улучшение по сравнению с существующими методами в сохранении спектральной точности при эффективном выводе отсутствующей информации из редко встречающихся субкадров.

Ключевые слова: разреженная реконструкция, компрессионное зондирование, мультиспектральная визуализация, компьютерное зрение, полоса спектра.

The wideband spectrum contains more information than the human eye can detect. Spectral information at different wavelengths can provide unique information about the internal properties of an object. Recently, smartphones have been using real-time imaging systems with low data collection times. Reliable reconstruction algorithms are required for using compressed sensing strategies that can reconstruct signals from the camera matrix. This paper considers the cross-spectral multilayer conditional random field (CS-MCRF) approach for sparse reconstruction of multi-spectral compression sensing in multi-spectral stereo computer vision visualization systems. CS-MCRF will use information between neighboring spectral bands to better utilize available information for reconstruction. This method was evaluated using simulated compressed multi-spectral visualization data. The results show improvement compared to existing methods in maintaining spectral accuracy while efficiently outputting missing information from rare subframes.

Keywords: sparse reconstruction, compression sensing, multi-spectral visualization, computer vision, spectral band.

Введение

Доступ к информации, регистрируемой в частотных диапазонах длин волн, которые не видны человеческому глазу, может предоставлять данные о важных характеристиках объекта. Современные мультиспектральные камеры (МС) обычно используют жидкокристаллические переключаемые фильтры или акустооптические переключаемые фильтры. Эти инструменты дороги, громоздки и требуют очень много времени для захвата изображений на разных длинах волн. Сокращение времени сбора данных и сложности инструментов очень желательно для мультиспектральной визуализации.

Достижения в области мультиспектральных методов визуализации позволяют фильтровать длину волны изображения на уровне пикселей [1–3]. Этот подход может значительно улучшить время сбора данных и упростить его применение за счет пространственного разрешения, поскольку пиксели на детекторе назначаются различным спектральным диапазонам информации. Чтобы использовать эту

стратегию сбора данных, были предложены методы сжатого зондирования. Методы сжатого зондирования позволяют реконструировать весь сигнал, используя наблюдения с разреженной, но достаточной выборкой [4]. Системы сжатых датчиков требуют передовых алгоритмов разреженной реконструкции для получения информации о состоянии с учетом сделанных наблюдений [4–6].

Необходимы алгоритмы реконструкции, которые могут эффективно выводить недостающую информацию, сохраняя при этом спектральную точность и сохраняя пространственное разрешение.

В данной статье рассмотрен кросс-спектральный многоуровневый подход CRF (CS-MCRF) для разреженной реконструкции сжатых мультиспектральных данных зондирования.

Информация между спектральными диапазонами с похожими длинами волн может улучшить качество реконструкции мультиспектральных данных с компрессионным зондированием. Изображения, полученные в спектральных диапазонах с похожими длинами волн, содержат пространственные характеристики, которые можно учитывать в процессе реконструкции, такие как отношения между соседними пикселями в изображении. Каналы с одинаковыми длинами волн будут иметь схожие характеристики, такие как различия в интенсивности в соседних пикселях и аналогичная структура граней, что позволяет использовать кросс-спектральные отношения в сочетании с пространственными отношениями в модели CRF. CS-MCRF использует соседние полосы со схожими характеристиками, чтобы сделать вывод о текущей сфокусированной полосе. Многоуровневый подход CRF используется для проверки качества наблюдений. Он использует концепцию унарных (обеспечивает исходные наблюдения, покрывающие точность данных) и парных потенциалов (обеспечивает пространственные и интермодальные отношения, заполняя потерянные данные). Новизна подхода CS-MCRF заключается в обеспечении внутри спектральной согласованности между соседними спектральными диапазонами.

Результаты

Для получения оценочных данных о качестве реконструкции с помощью рассматриваемого метода CS-MCRF было произведено сравнение гауссовской интерполяции с исходным MCRF [7]. Эти методы сравниваются как визуально, так и количественно с помощью анализа отношения пикового сигнала к шуму (PSNR), а также индекса структурного подобия (SSIM) [12].

В таблице 1 показаны значения PSNR, рассчитанные для различных методов. Значения PSNR оцениваются в соответствии с исходными полностью отобранными мультиспектральными данными с высоким разрешением.

Таблица 1 – Рассчитанное отношение пикового сигнала к шуму (PSNR) для различных методов

Канал	PSNR G(dB)	PSNR MCRF (dB)	PSNR CS–MCRF (dB)
1	24.87	33.96	38.18
2	25.10	33.37	37.76
3	22.77	31.30	36.11
4	17.62	30.37	36.09
5	22.72	31.50	36.89
6	20.92	30.65	36.32

Данные, приведенные в таблице 2, демонстрируют улучшение метода CS-MCRF по сравнению с другими методами. Данный метод показал улучшения на 6 дБ по сравнению с MCRF и улучшения на 17 дБ по сравнению с гауссовой интерполяцией в определенных спектральных каналах.

В таблице 2 показан индекс структурного подобия, рассчитанный для различных методов. Он сравнивается с исходными данными МС высокого разрешения с полной выборкой.

Таблица 2 – Рассчитанный индекс структурного подобия (SSIM) для различных методов

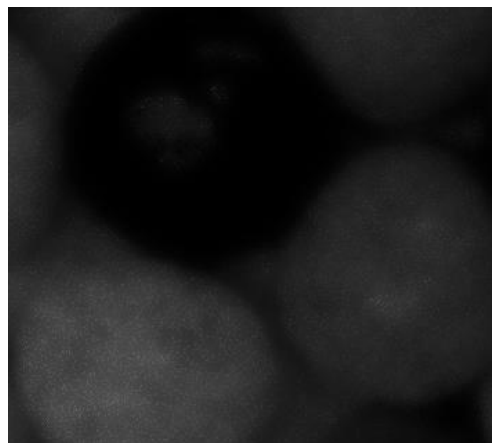
Канал	SSIMG(%)	SSIMMCRF (%)	SSIMCS–MCRF (%)
1	86.72	91.07	98.23
2	86.69	89.88	97.92
3	81.96	89.67	97.85
4	75.74	91.46	98.22
5	82.92	92.58	98.45
6	80.44	91.94	98.38

Данные, приведенные в таблице 2, при сравнении представленных методов CS-MCRF показывают улучшения – 8-процентное структурное подобие по сравнению с MCRF и улучшения до 22-процентного структурного подобия по сравнению с гауссовой интерполяцией в определенных спектральных каналах.

Из двух показателей видно, что CS-MCRF выполнил качественную реконструкцию и обеспечил значительные улучшения по сравнению с существующими методами. На рисунке 1 представлены интерполяции различных методов на увеличенной области изображения.



(a) Исходное изображение для диапазона 1



(b) Гауссова интерполяция для полосы 1



(c) Реконструкция MCRF для диапазона 1



(d) Интерполяция CS-MCRF для полосы 1

Рисунок 1 – Сравнение результатов в увеличенной области

Данные на рисунке 1 наглядно показывают улучшение CS-MCRF по сравнению с MCRF и гауссовой интерполяцией. CS-MCRF позволил получить более четкие края и сохранить исходные детали при сглаживании и заполнении недостающей информации. Из-за разреженности исходных измерений процесс реконструкции очень сложен. Необходимо соблюсти баланс между выводом информации о состоянии и сохранением исходных наблюдений. Визуально гауссова интерполяция создавала значительные артефакты в процессе реконструкции, в то время как MCRF давала лучшую интерполяцию. Результирующее изображение сглажено, а мелкие детали размыты.

Кроме того, видно, что гауссова интерполяция создает артефакты реконструкции, как показано на рисунке 1 (рисунок b), при размытии изображения. Интерполяция по Гауссу использует только пространственную согласованность и простую согласованность данных. Подход MCRF показал более высокий результат в сохранении исходных наблюдений при обеспечении пространственной согласованности. Ограниченный объемом используемой информации, MCRF использует повышенное соблюдение согласованности соседних полос спектра, что приводит к увеличению размытия, как видно на рисунке 1 (рисунок c). Используя дополнительную информацию, доступ-

ную благодаря кросс-спектральной согласованности, CS-MCRF обеспечил улучшенное усиление краев и деталей, что видно на рисунке 1 (рисунок d). Используя дополнительную информацию из нескольких спектральных диапазонов, применение концепции унарных потенциалов может улучшить детализацию краев и текстур по сравнению с исходным наблюдением.

Размытие при использовании метода CS-MCRF на рисунке 1 (рисунок d) по-прежнему присутствует, поскольку попарные ограничения требуются для определения местоположения пикселей, которые не вошли в исходное наблюдение. Общие результаты демонстрируют улучшения по сравнению с существующими методами за счет использования дополнительных кросс-спектральных согласований из соседних мультиспектральных диапазонов.

Спектральная точность является важной мерой изображения, и алгоритм реконструкции должен обеспечивать хорошее сохранение спектральной точности. Шестиканальный спектр конкретного пикселя представлен на рисунке 2.

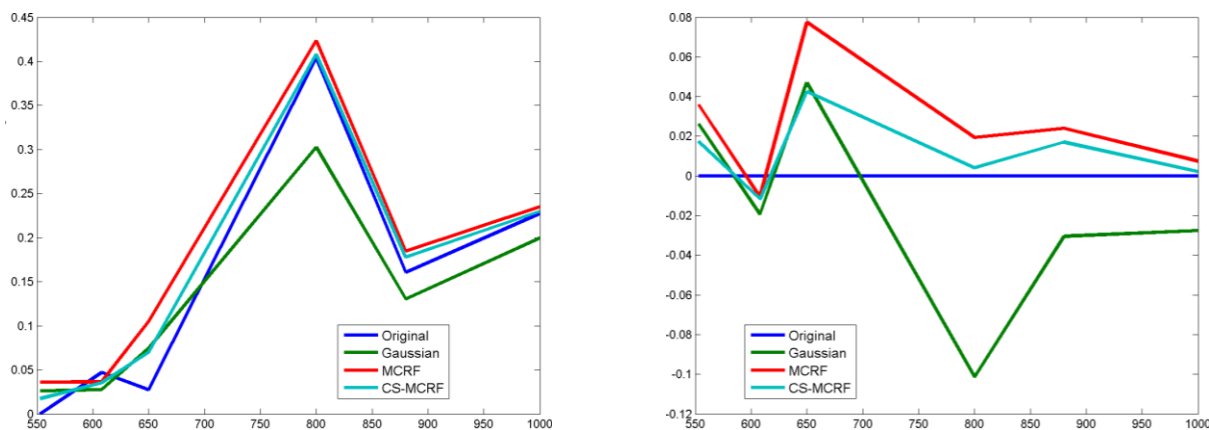


Рисунок 2 – Шестиканальный спектр определенного пикселя изображения, где: слева спектральная интенсивность на разных длинах волн, справа отклонение спектральной интенсивности на разных длинах волн

CS-MCRF имеет самую высокую спектральную точность по сравнению с другими методами. Гауссова интерполяция продемонстрировала высокую изменчивость исходного спектра, в то время как подход MCRF был ближе к исходному спектру. Таким образом, CS-MCRF дал наилучшие результаты, наиболее близкие к исходному спектру. Это демонстрирует способность CS-MCRF давать точную оценку спектральной характеристике в нескольких диапазонах мультиспектральных камер. Точность спектральной оценки является важной мерой качества алгоритма реконструкции для изображений мультиспектральных камер с компрессионным зондированием.

Выводы

Сжатие многоспектральных данных может значительно повысить эффективность визуализации, компактность и простоту использования многоспектральных систем визуализации. Такие устройства должны сопровождаться надежными алгоритмами реконструкции. Рассмотрен кросс-спектральный многослойный подход к реконструкции условного случайного поля, который использует дополнительную спектральную информацию из соседних спектральных диапазонов для улучшения качества разреженной реконструкции. Для проверки качественной и количественной эффективности метода CS-MCRF, была выполнена субдискретизация моделируемой длины волны на отобранных мультиспектральных данных из шестиканальной мультиспектральной системы визуализации. Был проведен анализ пикового отношения сигнала к шуму и структурного подобия. Результаты показывают значительное визуальное улучшение по сравнению с существующим подходом MCRF, а также гауссовой интерполяцией. Меньшее количество артефактов реконструкции и большее сохранение спектральной точности, что очень важно для мультиспектральной визуализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уход, Х.-б. Н., Yi, D., Wang, C., Qi, H., Kong, L., Wang, F. и Adibi, A., Мультиспектральный сканер изображений в режиме реального времени для домашнего здравоохранения. – Transactions, 2020. –736–740 с.
2. Парк, Х., Дэн, Ю., Сео, К., Ю, И.Дж., Дуэйн, П.К., Вобер, М., и Крозье, К.Б., Безфильтровые пиксели датчика изображения, содержащие кремнивые нанопроволоки с избирательным поглощением цвета. – Нано буквы, 2019. – 804 с.
3. Ясин, О. Н. Павлова, А. Н. Павлов – Письма в ЖТФ, 2016. – 50-56 с.
4. Филатова А.Е. Успехи и перспективы применения вейвлетных преобразований для анализа нестационарных нелинейных данных в современной геофизике. – Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. 2020. –3-23 с.
5. Баранюк, Р., Компрессионное зондирование. – Журнал обработки сигналов. 2017. –1–9 с.
6. Кандес, Э. Дж., Сжатая выборка. – Междунар конгресс математиков. 2016. –1433–1452 с.
7. Жилияков, Е. Г. Вариационные методы частотного анализа звуковых сигналов. – Труды учебных заведений связи. - СПб. - 2006. - № 174. 163-170 с.
8. Жилияков, Е. Г. Методы обработки речевых данных в информационно-телекоммуникационных системах на основе частотных представлений. – изд-во БелГУ, 2007. -136 с.
9. MJ Shafiee, A. Wong, P. Siva, PF, Эффективный байесовский вывод с использованием полностью связанных условных случайных полей со стохастическими кликами. – ICIP. – 204 с.
10. Александров, В. В. Представление и обработка изображений: Рекурсивный подход. – Наука. 1985. – 192 с.
11. Дьяконов, В. MATLAB 6.0/6.1/6.5/6.5+SP1 + Simulink 4/5. Обработка сигналов и изображений. – Солон-Пресс. 2005. -676 с.

Юсупов Шахризод Нодир Угли

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, аспирант

E-mail: vip.shaxrizod@mail.ru

Тел.: +79030984241

СЕКЦИЯ 2
«ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АПК»
SECTION 2
«INFORMATION TECHNOLOGY IN AGRIBUSINESS»

УДК 338.47, 004.415

А.В. БАБКИНА, О.С. ПУЧКОВА
A.V. BABKINA, O.S. PUCHKOVA

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСКОГО
ХОЗЯЙСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ
ЗА СЧЁТ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ
ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ЛОГИСТИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА**

**IMPROVING THE TRANSPORT AND STORAGE FACILITIES
OF AN AGRICULTURAL ORGANIZATION THROUGH
THE USE OF AUTOMATED LOGISTICS INFORMATION SYSTEMS**

В данной статье исследуются пути совершенствования транспортно-складского хозяйства сельскохозяйственной организации за счет применения автоматизированных информационных систем логистического характера. Описывается роль логистики в АПК, рассматриваются особенности транспортно-складского хозяйства в сельскохозяйственных организациях, обосновывается методика повышения эффективности функционирования транспортно-складского хозяйства путём разработки информационной системы учета движения товаров на складе, освещены основные этапы реализации данного проекта.

Ключевые слова: логистика; логистические процессы; транспортно-складское хозяйство; сельскохозяйственная организация; материальный поток; информационный поток; информационные технологии; информационные системы.

This article explores ways to improve the transport and storage facilities of an agricultural organization through the use of automated logistics information systems. The role of logistics in the agro-industrial complex is described, the features of the transport and warehouse economy in agricultural organizations are considered, the methodology for improving the efficiency of the transport and warehouse economy by developing an information system for accounting for the movement of goods in the warehouse is substantiated, the main stages of the implementation of this project are highlighted.

Keywords: logistics; logistics processes; transport and warehousing; agricultural organization; material flow; information flow; information technologies; information systems.

С уровнем развития информационных технологий (ИТ) расширились возможности по применению автоматизированных информационных систем (АИС) во всех направлениях агропромышленного комплекса (АПК), в том числе и в сфере транспортно-складского хозяйства.

Применение в информационных системах новых методов по обработке и передаче информации помогло не только повысить уровень производства, но и сократить издержки за счет уменьшения времени на принятие управленческого решения, анализ процессов и их выполнение персоналом. При этом также улучшилась возможность контролировать все бизнес-процессы на любом этапе [1].

Актуальность исследования состоит в том, что транспортно-складское хозяйство влияет на производство и предприятие в целом, так как связано со всеми сторонами деятельности организации. Даже в условиях предприятий с небольшим транспортно-складским хозяйством нарушение в выполнении установленных функций приводит к ощутимым негативным последствиям в функционировании организаций.

На тему функционирования транспортно-складского хозяйства высказывались многие ученые и специалисты: Т.В. Алесинская, В.В. Борисова, П.П. Гончаров, В.К. Зарецкий, Т.Б. Иванова, А.С. Клименко, Г.Г. Левкин, Н.Н. Литвинов, Ю.А. Маркарьян, А.Л. Носов, С.Ю. Шевченко и др.

Анализе научной литературы показал, что рынок АИС для транспортно-складского хозяйства насыщен разными вариантами для реализации. Но вопрос взаимодействия транспортно-складской системы хорошо исследован только на стратегическом уровне [2].

Анализ логистики в сфере АПК говорит о том, что необходимо её совершенствовать. Для этого надо рассматривать систему более детально на уровне конкретного предприятия, так как следует обратить внимание, в первую очередь, на оптимизацию внутренних материальных потоков [3].

Логистика становится инструментом, который отвечает за равномерное распределение и использование ресурсов, что позволяет экономить время и деньги, затрачиваемые на процесс доведения продукции (товаров) до потребителя [4].

Ежегодно растет востребованность логистики в отраслях АПК в связи с тем, что в большинстве случаев территориальное размещение производственных процессов отсутствует. К примеру, для сельскохозяйственных организаций, осуществляющих переработку продукции, требуется физическое движение материальных потоков во времени и пространстве, так как они находятся на больших расстояниях от источников сырья. А современная сельскохозяйственная организация выступает как важнейшее производственное звено АПК.

Таким образом, логистика АПК направлена на повышение эффективности и результативности работы сельского хозяйства.

Логистика в АПК имеет свои отличительные особенности по сравнению с другими отраслями, что требует более детального рассмотрения логистического процесса, на основе которого строится логистическая система сельскохозяйственной организации. Важным направлением логистической деятельности в сельском хозяйстве является ресурсное обеспечение производителей продукции. Поставка техники, запасных частей, расходных материалов, сервисное обслуживание должны быть органично встроены в систему сельскохозяйственной логистики [3].

Для логистики одним из главных объектов является «поток». Где поток определяется как: «Количество вещества, информации, денежных средств, перемещаемых в единицу времени» [5].

Одним из основных для логистической системы является материальный поток, который формируется при выполнении всех стадий логистического цикла.

У материальных потоков в сельскохозяйственной деятельности имеется своя специфика. Во-первых, они зависят от сезонности производства. Например, для растениеводства характерно длительное хранение запасов сырья и готовой продукции. Во-вторых, сам материальный поток может выступать как сырьё и в тоже время как готовый продукт. Ю.А. Маркарьян, Е.И. Шевченко, А.С. Клименко приводят в пример зерно, которое может быть, как семенной материал, или использоваться как сырьё для мукомольной промышленности [5]. В-третьих, на всех этапах логистической цепи материальные потоки могут сильно измениться. Это сказывается также на изменении способа хранения и потребности в специальном транспорте, месте сбыта. Также в сельскохозяйственном производстве материальные потоки могут иметь биологическую природу (молодняк птицы или животных). Помимо этого, в АПК материальный поток имеет свойства увеличения выбора, когда из определенного количества сырья можно получить множество видов продукции.

Для управления потоками применим логистический подход. Подсистема контроля, в данном случае, координирует материальные потоки, что позволит избежать избыточных издержек денежных средств, времени, а также пробег транспорта и техники.

Рассмотрение материальных потоков и их особенностей в сфере АПК позволяет выявить проблемы с физическим перемещением товаров. Однако материальные потоки, в свою очередь, должны рассматриваться вместе с информационными, маркетинговыми и финансовыми.

Увеличение значения информационных потоков в логистических системах вызвано тем, что полученная информация точно в срок, даёт больше гибкости для системы. Также, если информация полная и верная, это оказывает влияние на снижение количества запасов. Однако, она должна быть представлена в виде знаний и правильно считана. Следовательно, использование информационного обеспечения в логистических системах заключается в сборе, обработке, хранении и предоставлении информации о запасах, логистических расходах, затратах и материальных потоках.

Помимо этого, информационные потоки позволяют нам предоставлять клиентам услуги, с помощью которой пользователь может получить необходимую информацию о заказах и товарах (статус, наличие, сроки доставки).

Тесная связь транспорта и склада обусловлена тем, что данные элементы работают для выполнения общих целей, направленных на достижение минимальных издержек как при доставке, так и при складской деятельности.

Взаимодействие транспорта и склада уже давно является предметом внимания специалистов, занимающихся исследованиями в этой области. Выяснилось, что затраты на транспорт и складские помещения в некоторых компаниях составляют до 25-30% от общих косвенных затрат в себестоимости продукции [5].

В первую очередь, отлаженная работа транспортного сектора влияет на производственный процесс за счет экономии времени, затрачиваемого на выполнение транспортных операций.

При достаточной оснащенности транспортными средствами, правильном использовании и организации движения материальных потоков, повышается точность, качество выполнения работ, производительность процессов.

Отличительной чертой для транспорта является то, что результат деятельности - это услуги.

Еще одной, немаловажной чертой в транспортном хозяйстве является работа с материальными, а также с информационными потоками, такими как: необходимая документация, информация о перевозимой продукции и перевозках.

В соответствии с принципами и особенностями транспортного хозяйства в современных условиях необходимость использования информационной системы является актуальной.

В настоящее время, склады участвуют в логистической системе на протяжении всего движения материальных потоков. Склад в сельскохозяйственной организации может предназначаться как для накопления, так и для обеспечения производства необходимыми материалами, а также для поставки продукции потребителям.

Правильно выстроенная работа складской системы обеспечивает повышение результатов работы складов предприятия. Это связано, в первую очередь, с организацией своевременности выполнения складских функций.

Подводя итог по вышеизложенному, для достижения высокой производительности при работе с материальными потоками на складе необходимо внедрение и использование автоматизированных систем, а также современных технологий.

Для сельскохозяйственной организации возможно использование различных информационных систем, которые могут отвечать за выполнение разных функций и задач. При этом возможность приведения к единой информационной системе позволяет оптимизировать скорость и достоверность предоставляемой информации на всех уровнях предприятия, что скажется положительно на логистической цепи, так как получение такой информации предоставит возможность по устранению недостатков.

В каждой цепочке логистической системы имеются свои особенности, в связи с этим, для каждого звена на рынке предлагается выбор систем управления.

Выбор АИС для транспортно-складского хозяйства разнообразен.

Для крупномасштабных сельскохозяйственных предприятий, с большим количеством потоков, в том числе и информации, лучшим решением для автоматизации определенных этапов станут системы, которые могут интегрироваться с уже внедренными информационными системами в организации. Это значительно оптимизирует работу и возможность доступа сотрудников разных отделов к точной и необходимой информации, а также сокращает время поиска и обработку информации, что по сути создает единое информационное пространство для всех сотрудников. Также такой подход подойдет для средних предприятий, если АИС масштабируемы и гибкие.

Организация единой системы на предприятии дает хорошие результаты на всех этапах от планирования до реализации.

Для небольших сельскохозяйственных организаций существует большое количество небольших, доступных систем (ЕКАМ, МойСклад и т.д.), но их применение не всегда выгодно, данные программы редко имеют возможность интегрироваться с другими системами, возникают проблемы с технической поддержкой, их сложно подстроить под особенности организации, но оправ-

дывают себя простотой, относительно небольшой стоимостью и объемом для хранения информации. Такие системы подойдут для работы небольших интернет-магазинов.

Так как каждая сельскохозяйственная организация обладает своими особенностями, связанными с процессами производства, специализацией, сезонностью, масштабами, территориальными особенностями, то еще одним эффективным способом автоматизации транспортно-складского хозяйства является разработка ИС для конкретной организации, что позволит создать продукт, отвечающий всем критериям логистической цепи. При этом нужно соблюдать, чтобы системы оставались масштабируемыми, гибкими и оптимизировали усовершенствованные процессы [6].

В рамках научной работы магистрами 2 курса по направлению «Прикладная информатика» под руководством преподавателей кафедры прикладной информатики РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева была обоснована методика разработки АИС логистического характера для совершенствования транспортно-складского хозяйства для АО «Агрофирма «Красная заря» Московской области. В рамках данной работы выделены бизнес-процессы исследуемой организации, сформирована ее ИТ-архитектура. С помощью методологии и программной платформы моделирования организации и ее бизнес-процессов ARIS Express построены бизнес-процессы складского учета и логистики. Модель ЕРС «Учета движения товаров на складе (как есть)» позволила выявить слабые места в исследуемой организации:

- избыточный штат персонала в результате неавтоматизированного документооборота производственных процессов;
- неплановая загрузка сотрудников склада в связи с дублированием первичных документов и нерациональными маршрутами движения документов и отчетов.

Для повышения эффективности предложена ИС учета движения товаров на складе, выполняющая задачи, связанные с автоматизацией, такие как: быстрая и точная обработка информации, получение необходимых результатов, введение информационной базы.

Анализ организационной структуры и деятельности транспортно-складского хозяйства позволил выявить наиболее важные участки автоматизации с целью повышения эффективности использования складских ресурсов, качества складского обслуживания и пропускной способности склада.

В ходе разработки моделей базы данных (БД) определены концептуальная, логическая и физическая структуры БД. А также созданы следующие сущности: контрагенты, сотрудники, должности, единицы измерения, номенклатура, склады, журнал накладных приход и журнал накладных расход.

Средствами среды разработки Microsoft Visual Studio 2019 и языка программирования C# спроектированы соответствующие формы справочников и документов, на основании которых осуществляется ввод и редактирование данных в разработанной ИС.

В системе учета движения товаров на складе реализован комплекс запросов, позволяющих выполнять консолидацию и анализ оперативных данных, среди которых можно выделить: остатки на складе, ведомости по накладным прихода и расхода.

В разработанной ИС имеются следующие модули:

- модуль инициализации – запуск информационной системы;
- модуль главного меню – доступ ко всем объектам информационной системы;
- модуль справочников – доступ ко всем справочникам информационной системы;
- модуль запросов и отчетов обеспечивает все запросы и отчеты информационной системы;
- модуль работы с базой данных – хранение объектов информационной системы.

Анализ эффективности внедрения ИС учета движения товаров на складе был проведен в трех аспектах. Социальная эффективность проекта проявилась в создании благоприятной среды на рабочем месте, повышении профессионализма сотрудников организации и уровня оплаты труда, а значит и в удовлетворенности работников. С введением ИС удалось повысить функциональную эффективность: увеличилась скорость работы с оперативными документами, сократилось время, затрачиваемое на их обработку, снизилась общая нагрузка сотрудников. Производительность труда персонала по всем автоматизированным видам работ в целом увеличилась на 83,5%. Экономическая эффективность разработанной ИС была оценена на основании расчёта основных показателей экономической эффективности проекта. Изменение капитальных и текущих затрат составили

соответственно 110 200 и 190 096 рублей, расчетный коэффициент эффективности проекта соответствует 1,72, период окупаемости проекта составил 0,6 года. Таким образом, проведенный анализ свидетельствует об эффективности внедрения разработанной информационной системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цифровая трансформация агропромышленного комплекса / Т.И. Ашмарина, Т.В. Бирюкова, В.Т. Водяников [и др.]. М.: Общество с ограниченной ответственностью «Мегаполис», 2022. 160 с.
2. Алесинская Т.В. Основы логистики. Функциональные области логистического управления. Часть 3. / Т.В. Алесинская – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – 116 с.
3. Карминский А.М. Методология создания информационных систем: Учебное пособие / А.М. Карминский, Б.В. Черников. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: ИД ФОРУМ: ИНФРА-М, 2012. – 320 с.
4. Носов А.Л. Логистическая система очистки территории региона от твердых бытовых отходов // Логистика сегодня, 2014. № 2. С. 112-121
5. Левкин Г.Г. Логистика в АПК Учебное пособие. 2-е изд. / Г.Г. Левкин. – М.: Берлин: Директ-Медиа, 2014. – 245 с.
6. Бабкина, А.В., Осипова М.Б., Пучкова О.С. Оптимизация логистических процессов в крестьянских (фермерских) хозяйствах методами математического моделирования / Бабкина, А.В., Осипова М.Б., Пучкова О.С. // Международный научный журнал, 2022. № 2 (83). С. 104-109

Бабкина Анастасия Валентиновна

ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва
К.э.н., доцент, доцент кафедры прикладной информатики
Тел.: +7(499) 977-86-64
E-mail: babkina@rgau-msha.ru

Пучкова Ольга Сергеевна

ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва
К.э.н., доцент кафедры прикладной информатики
Тел.: +7(499) 977-86-64
E-mail: puchkova@rgau-msha.ru

УДК 303.732.4; 658.562

П.А. БУЗОВ, А.Г. ЖИХАРЕВ, С.И. МАТОРИН
P.A. BUZOV, A.G. ZHIKHAREV, S.I. MATORIN

СИСТЕМНО-ОБЪЕКТНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

SYSTEM-OBJECT MODEL QUALITY MANAGEMENT SYSTEMS

В данной статье авторы описывают системно-объектную модель процессов системы менеджмента качества, построенную с использованием системно-объектного инструментария структурного моделирования UFO-toolkit с целью совершенствования обеспечения процессного подхода при внедрении СМК.

Ключевые слова: система менеджмента качества (СМК), системный процессный подход, системно-объектный инструментарий структурного моделирования, элемент «Узел-Функция-Объект».

In this article, the authors describe the system-object model of the processes of the quality management system, built using the system-object toolkit of structural modeling UFO-toolkit in order to improve the provision of the process approach when implementing the QMS.

Keywords: quality management system (QMS), system process approach, system-object tools for structural modeling, «Unit-Function-Object» element.

Одним из основных принципов системы менеджмента качества (СМК) является «процессный подход» [1], в соответствии с которым вся деятельность организации рассматривается как набор процессов [2]. Однако, на многих предприятиях уже внедренная СМК, по существу не работает, так как по-настоящему системный процессный подход не применяется [3].

Одной из причин упомянутого выше обстоятельства авторы считают отсутствие описаний самой СМК с использованием средств системного процессного подхода. Скромные попытки показаны, например, в работах [4 и 5]. Но представленные в них модели описывают процессы управления качеством только частично или вообще без связи со стандартом ИСО 9001. При этом и в самом стандарте ИСО 9001-2015 СМК представлена в виде картинки цикла PDCA: Планируйте-Делайте-Проверяйте-Действуйте.

Таким образом, разработка системной процессной модели, описывающей процессы в СМК, представляется актуальной задачей. Рассмотрим вариант решения такой задачи с помощью свободно распространяемого системно-объектного инструментария структурного моделирования UFO-toolkit (www.ufo-toolkit.ru).

Основным элементом модели при использовании данного инструментария является элемент «Узел-Функция-Объект» (УФО-элемент), который представляет собой перекресток входных и выходных связей (узел), процесс преобразования входных потоков в выходные в данном узле (функция) и субстанцию, исполняющую данную функцию (объект). При этом, в первую очередь, определяется узел своими связями, во вторую очередь, функция узла или специальным образом, или с помощью декомпозиции узла, в третью очередь, объект с помощью текстового описания. Если элемент представлен объемной фигурой, то он определен до уровня объекта. Элементы типа «Р» и «С» (не закрашенные, не объемные) имеют только логическую функцию разветвителей или соединителей потоков связей.

На рисунке 1 представлена контекстная диаграмма СМК, на которой она как часть системы более высокого яруса взаимодействует с внешними сущностями: потребителями, поставщиками, руководящими и контролирующими органами и внешним окружением организации. На рисунке 2 представлена классификация связей, которые использованы в модели. В соответствии с системно-объектным подходом все связи являются видами или материальными связями (вещественных или энергетических), или информационных (по управлению или по данным).

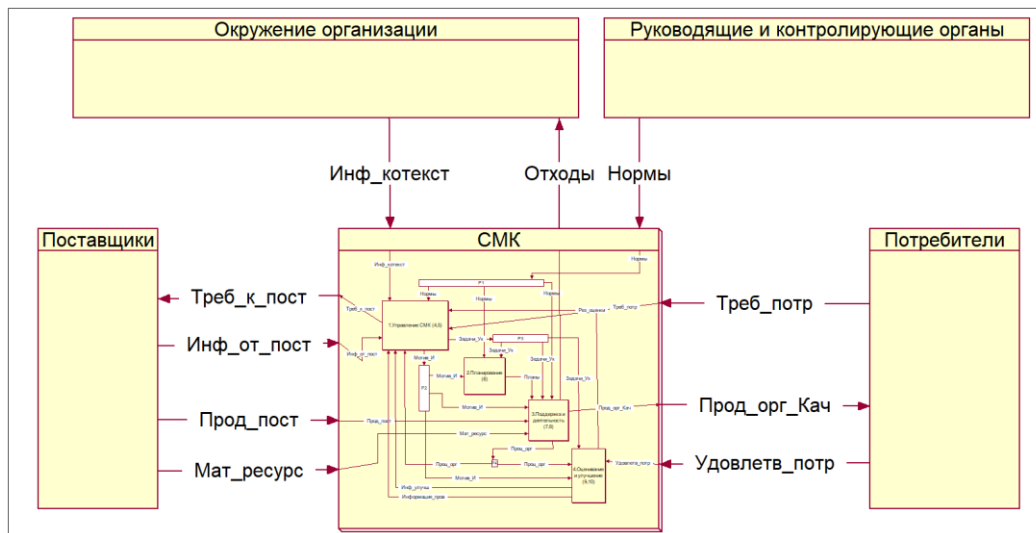


Рисунок 1 – Контекстная диаграмма SMK

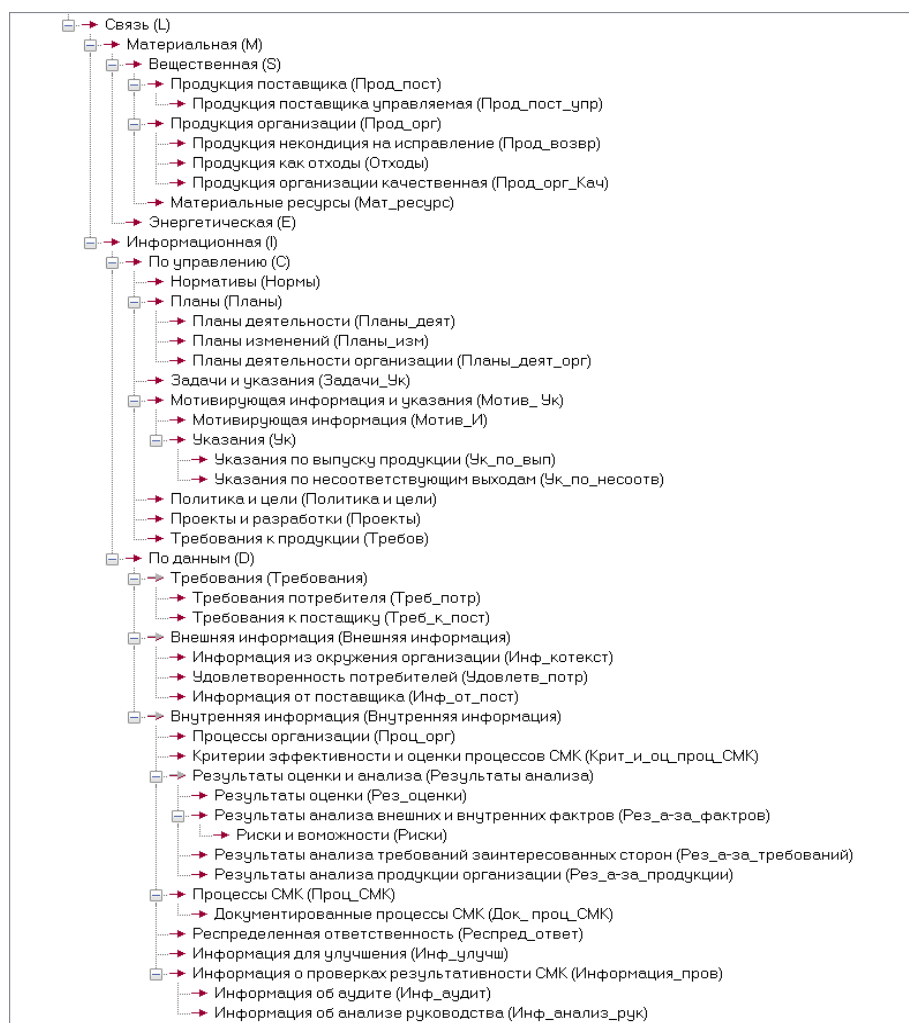


Рисунок 2 – Иерархия связей модели SMK

На рисунке 3 представлена диаграмма декомпозиции SMK, на которой изображены процессы SMK верхнего уровня. Номера в скобках после названия процессов соответствуют номерам разделов стандарта ИСО 9001-2015, в которых они описаны.

На рисунке 4 представлена декомпозиция «Управление СМК» первого уровня. По понятным причинам здесь не могут быть представлены декомпозиции всех уровней.

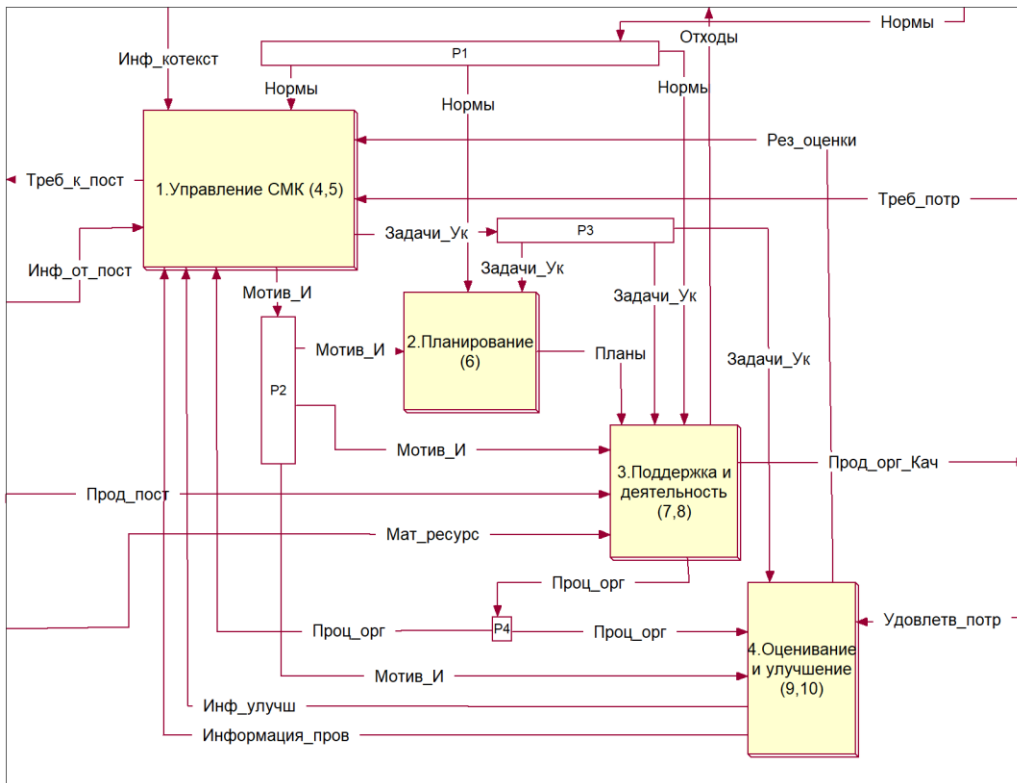


Рисунок 3 – Диаграмма декомпозиции СМК

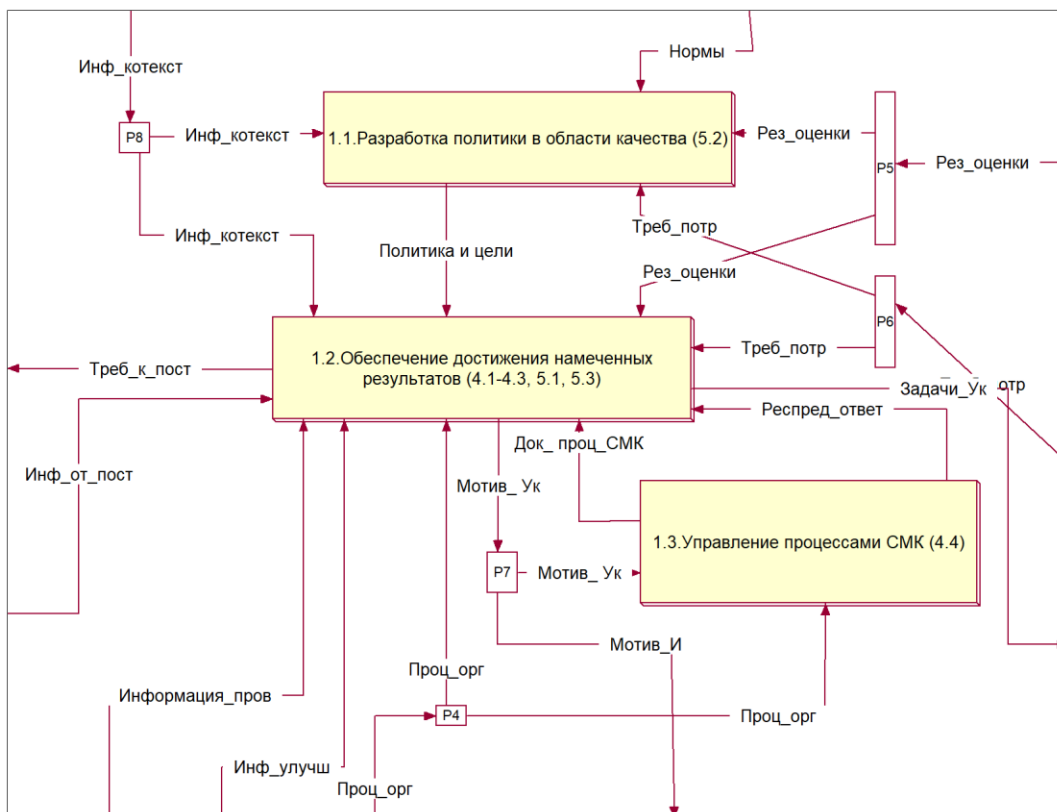


Рисунок 4 – Декомпозиция процессов управления СМК

На рисунках 5 и 6 представлены декомпозиции первого уровня процессов «Планирование» и «Поддержка и деятельность» соответственно. На рисунке 7 представлены диаграмма декомпозиции второго уровня процесса «Деятельность организации».

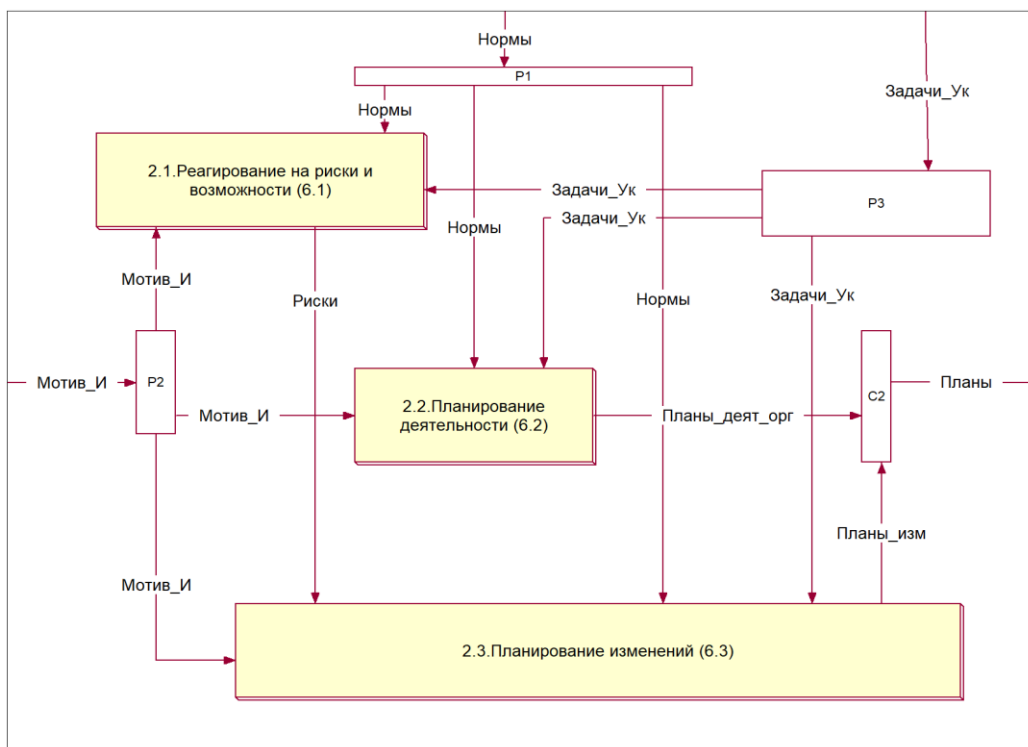


Рисунок 5 – Декомпозиция процессов планирования

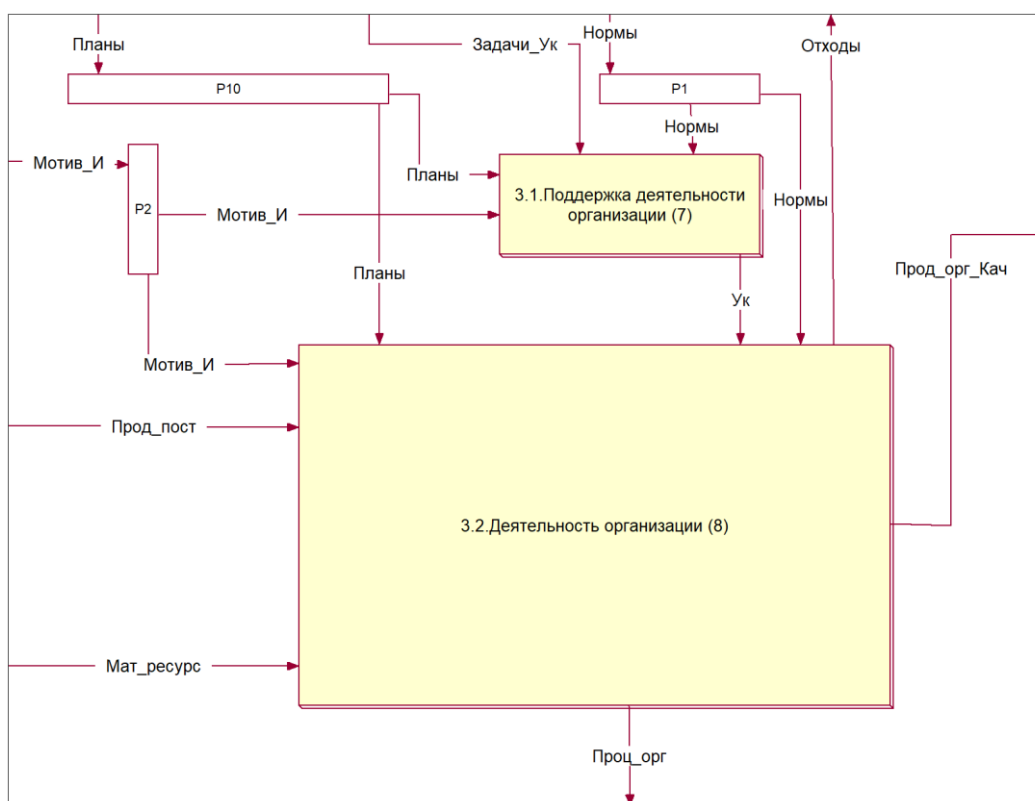


Рисунок 6 – Декомпозиция процессов поддержки деятельности и деятельности

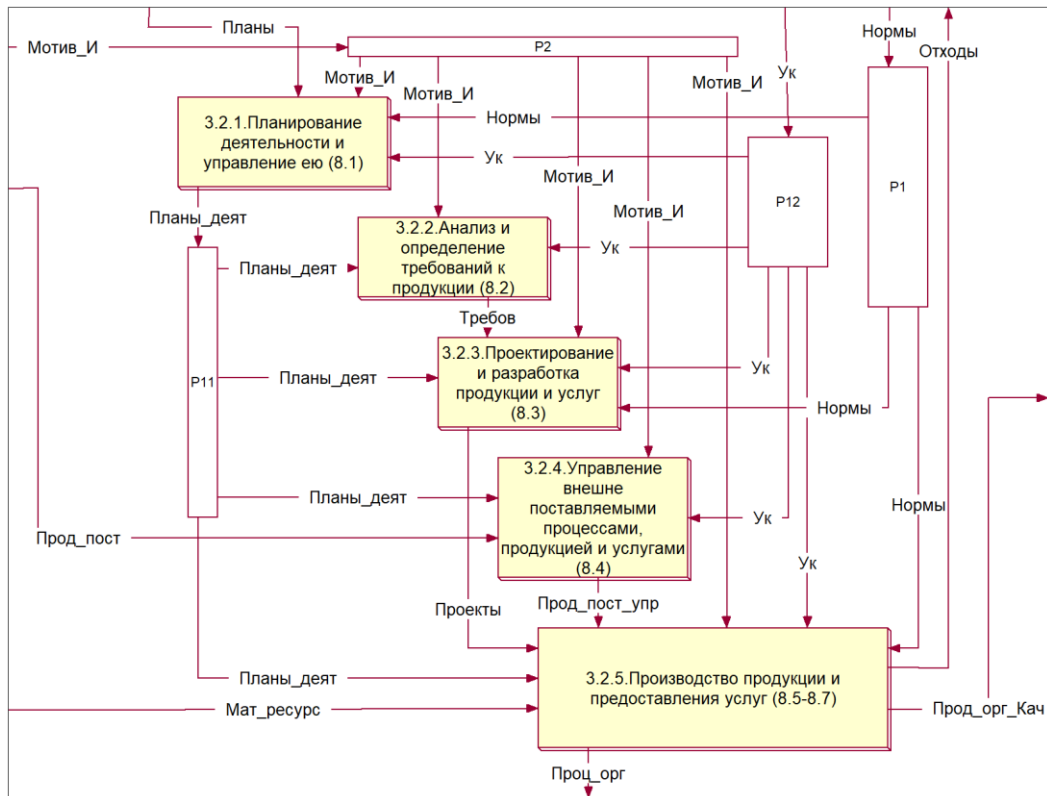


Рисунок 7 – Декомпозиция процессов деятельности

На рисунке 8 представлена декомпозиция первого уровня процессов «Оценивание и улучшение».

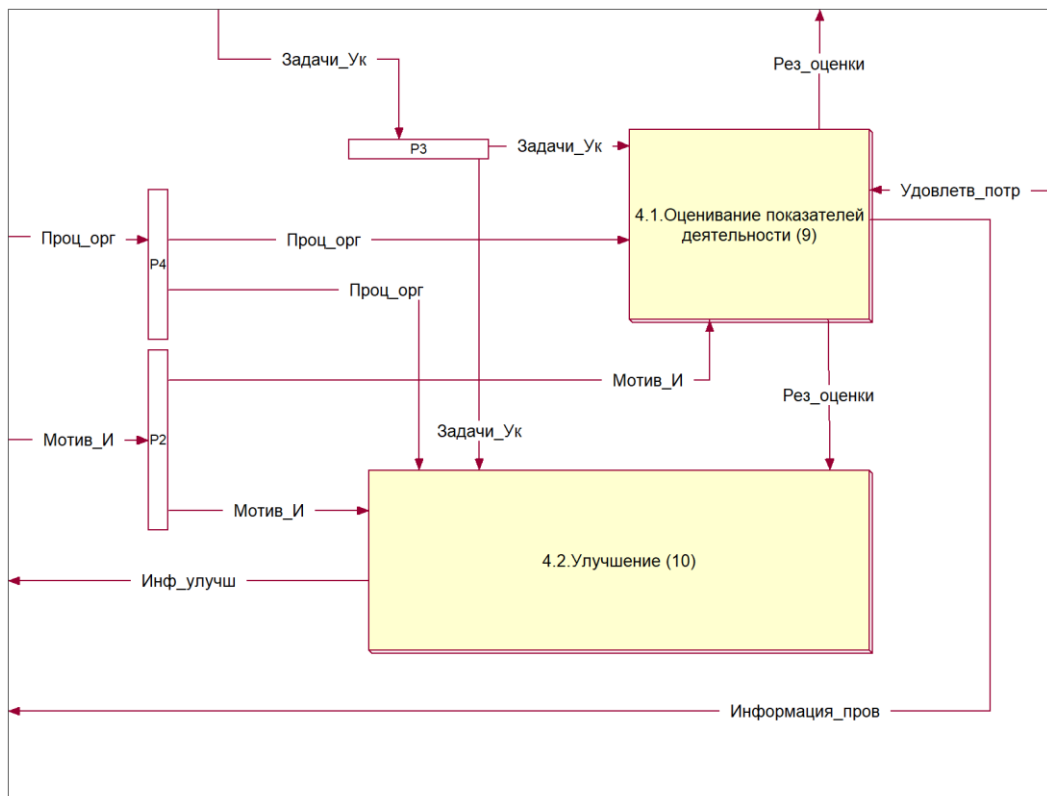


Рисунок 8 – Декомпозиция процессов оценивания и улучшения

Файл модели кроме диаграмм, многие из которых здесь не представлены из-за ограниченного объема статьи, содержит иерархию всех функциональных узлов с описанием всех процессов в соответствии с пунктами стандарта и ориентировочным распределением по категориям сотрудников организации, что, при необходимости, может быть легко изменено.

Модель позволяет усовершенствовать и упростить процедуру внедрения СМК на предприятии, в том числе агропромышленного комплекса, так как представляет управление качеством не в виде абстрактного процесса PDCA и множества текстовых рекомендаций, а в виде последовательности конкретных процессов в том числе на достаточно низком уровне иерархии. При этом показана взаимосвязь процессов, т.е. для каждого процесса определено что он должен получить на входе от предшествующих процессов и что он должен произвести на выходе для последующих процессов. Кроме того, модель обеспечивает распределение и перераспределение обязанностей должностных лиц.

Таким образом, предложенная модель позволяет осуществлять регламентацию процессов управления качеством таким же образом как регламентируются обычные производственные бизнес-процессы.

Авторы планируют апробировать данную системно-объектную модель СМК на конкретном предприятии в целях совершенствования процессов управления качеством, а также в целях совершенствования самой модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Системы менеджмента качества. Требования // Международный стандарт ISO 9001-2015.
2. Процессный подход URL: https://www.kpms.ru/General_info/Process_approach.htm
3. Липидус В. Система систем менеджмента, новые подходы к менеджменту качества и производительности // «Business Excellence» Октябрь 2020 URL: <https://ria-stk.ru/ds/adetail.php?ID=192985>
4. Еренков О.Ю., Ивахненко А. Г., Сторублев М. П. Системы и модели менеджмента качества. — Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2014. 127с.
5. Шичков Н.А. Управление процессами системы менеджмента качества. — Санкт Петербург: УМЦ Бизнес Класс, 2016. 33с.

Бузов Павел Андреевич

АО «СофтКоннект»
Генеральный директор
Тел.: +7(915)5293279
E-mail: info@softconnect.ru

Жихарев Александр Геннадиевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Автоматизированных систем и технологий»
Тел.: +7(4722)301352
E-mail: Zhikharev@bsu.edu.ru

Маторин Сергей Игоревич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Д.т.н., профессор, профессор кафедры «Информационных и робототехнических систем»
Белгородский университет кооперации, экономики и права
Профессор кафедры информационных систем и технологий
Тел.: +7(4722)301300, доб. 2016
E-mail: matorin@bsu.edu.ru

УДК 681.3

Д.В. ГОНЧАРОВ, О.А. ИВАЩУК, В.И. ФЕДОРОВ
D.V. GONCHAROV, O.A. IVASHCHUK, V.I. FEDOROV**МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ УРОЖАЙНОСТЬЮ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ
КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ ДИНАМИКИ ПАРНИКОВОГО ЭФФЕКТА****MODELING OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR MANAGING
THE YIELD OF AGRICULTURAL CROPS UNDER THE DYNAMICS
OF THE GREENHOUSE EFFECT**

В статье рассматриваются основные аспекты автоматизированного управления адаптацией сельскохозяйственных территорий в условиях динамики парникового эффекта. Исследуются подходы к построению соответствующей автоматизированной системы управления, структура и функции которой позволят обеспечить научную обоснованность и результативность управленческих решений за счет агроэкологического и природно-сельскохозяйственного зонирования территорий с использованием интеллектуального анализа данных, ГИС и 3D моделирования. Система данного класса включает специализированную цифровую платформу, реализующую динамическое формирование требуемых моделей и алгоритмов, обеспечивает оперативную реакцию всех ее компонентов на текущие изменения в объекте управления и в окружающей среде.

Ключевые слова: автоматизированная система; моделирование; зонирование сельскохозяйственных территорий; парниковый эффект; урожайность.

The article discusses the main aspects of automated management of adaptation of agricultural territories in the conditions of the dynamics of the greenhouse effect. The approaches to the construction of an appropriate automated management system are being investigated, the structure and functions of which will ensure the scientific validity and effectiveness of management decisions through agroecological and natural-agricultural zoning of territories using data mining, GIS and 3D modeling. The system of this class includes a specialized digital platform that implements the dynamic formation of the required models and algorithms, provides an operational response of all its components to current changes in the control object and in the environment.

Keywords: automated system; modeling; zoning of agricultural territories; greenhouse effect; productivity.

Современные системы мониторинга, прогнозирования и управления территориями и объектами различного уровня и назначения используют средства автоматизации, возможности математического и компьютерного моделирования, интеллектуального анализа данных, что позволяет надевать их как традиционными функциями сбора и обработки информации, так и функциями интеллектуальной поддержки принятия решений. Такие подходы изложены, например, в работах [1] и в предыдущих работах авторов при представлении результатов разработки сложных динамических систем для интеллектуального мониторинга и управления инновационными территориями [2, 3].

Следует отметить, что соответствующие механизмы интеллектуального мониторинга сегодня крайне важны для сельскохозяйственных территорий, обеспечения продовольственной безопасности страны, особенно важны для адаптации к динамике природной среды и/или инфраструктуры с целью сохранения и увеличения урожайности.

В последние годы увеличилось число научных исследований, демонстрирующих зависимость продуктивности сельскохозяйственных территорий от погодных, климатических изменений, в том числе рассеивания и накопления парниковых газов в приземном слое атмосферы [4-7]. Часть из них может быть составляющей общего методологического инструментария для обеспечения эффективного управления урожайностью сельскохозяйственных культур с учетом динамики парникового эффекта (ПЭ). Однако на сегодняшний момент нет методов и алгоритмов, позволяющих формировать адаптационные сценарии, определяющие наиболее результативные с точки зрения урожайности условия посева сельскохозяйственных культур, а также количественно и пространственно оценивать и прогнозировать уровень выброса парниковых газов [8].

Авторским коллективом поставлена научная задача разработки автоматизированной системы управления адаптацией сельскохозяйственных территорий в условиях динамики парникового эффекта, функционирование которой обеспечит определение оптимальных параметров природно-сельскохозяйственного и агроэкологического зонирования исследуемых территорий, их качественную и количественную структуру, формирование адаптационных сценариев управления, что позволит добиться увеличения урожайности растений и обеспечит минерализацию верхнего гумусового слоя почвы [9-10].

Предложена концептуальная схема зонирования территорий в целях повышения урожайности сельскохозяйственных культур в условиях динамики ПЭ, как основа для функционирования специализированной автоматизированной системы (рисунок 1).

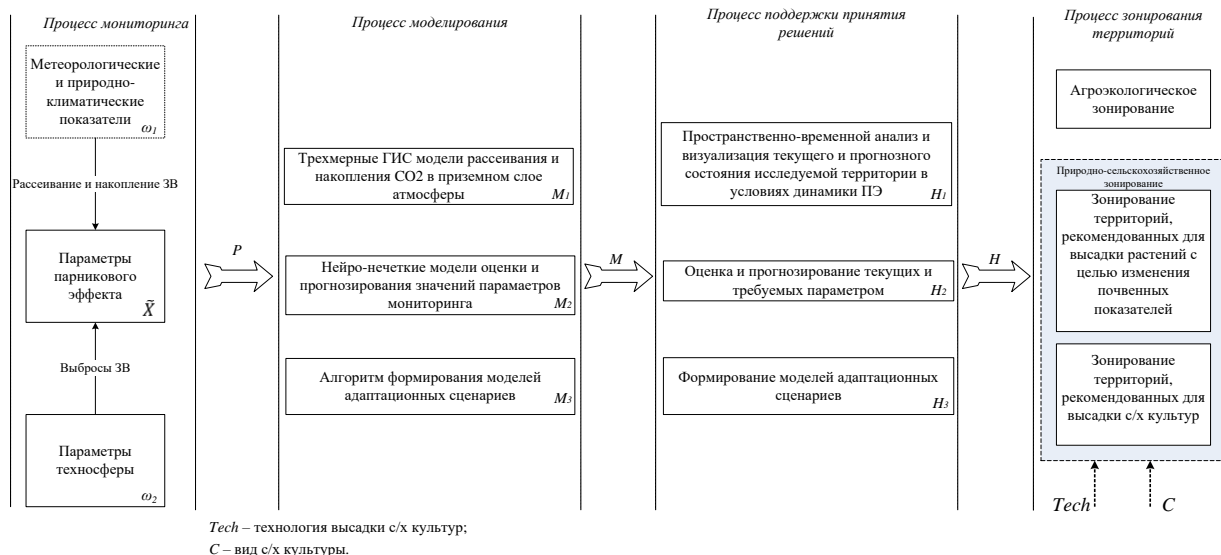


Рисунок 1 – Схема адаптационного зонирования территорий для повышения урожайности сельскохозяйственных культур в условиях динамики ПЭ с применением цифровых технологий

Данная схема включает следующие процессы:

- Процесс мониторинга, где $P = \{\omega_1, \omega_2, \tilde{X}\}$, ω_1 – наиболее изменчивый, контролируемый, но неуправляемый метеорологический фактор, ω_2 – параметры техносферы, определяющие мощность и структуру выбросов загрязняющих веществ в атмосферу; \tilde{X} – параметры ПЭ, которые формируются под влиянием метеорологических и техногенных параметров (температура воздуха, теплообеспеченность почвы и концентрация CO₂ в приземном слое атмосферы), $\tilde{X} = f(\omega_1, \omega_2)$.

- Процесс моделирования, где $M = \{M_1, M_2, M_3\}$: на основе данных мониторинга (P) осуществляется построение ГИС и 3D моделей (M_1); нейро-нечетких моделей (M_2), которые определяют причинно-следственные связи $g\{\omega_1, \omega_2, X\}$; алгоритм формирования моделей адаптационных сценариев (M_3).

- Процесс поддержки принятия решений, где $H = \{H_1, H_2, H_3\}$, который обеспечивает переработку информации в форму, пригодную для принятия управленческих решений, при этом чем больше датчиков, сенсоров, газоанализаторов и микроконтроллеров будут объединены в общую сеть и обмениваются данными, тем более точным могут быть прогнозы и планирование.

- Процесс зонирования территорий: реализация конкретных управляющих воздействий, а именно определения пространственных и структурных параметров территории для высадки сельскохозяйственной культуры определенного вида (C) с использованием наиболее оптимальной в данных условиях технологии высадки и обработки (Tech) [11].

Модель автоматизированной системы управления адаптацией сельскохозяйственных территорий в условиях динамики ПЭ схематично показана на рисунке 2. Ее структура основана на соответствующей схеме управления экологической безопасностью территорий [1].



Рисунок 2 – Обобщенная модель автоматизированной системы управления адаптацией сельскохозяйственных территорий в условиях динамики ПЭ

Данная АСУ состоит из следующих основных подсистем:

- Объект управления – адаптация сельскохозяйственных территорий в условиях динамики ПЭ – состояние которого описывает множество X ;
- Система мониторинга – осуществляет сбор и предварительную обработку данных (P);
- Интеллектуальная система поддержки принятия решений – осуществляет оценку, прогнозирование, пространственно-временной анализ и формирование моделей альтернативных сценариев управления (H);
- Управляющая подсистема – вырабатывает комплекс управляющих воздействий на объект управления U , при этом Y – обратная связь, предоставляющая результаты реализации конкретных сценариев управления;
- Q – измеряемый параметр внешних воздействий.

Для обеспечения эффективного функционирования введенной интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИСППР) необходимо ее наполнение комплексом моделей и алгоритмов из множества M (рисунок 1) [12].

Структуру интеллектуальной системы поддержки принятия решений системы управления адаптацией сельскохозяйственных территорий к динамике ПЭ будут определять, как вышеуказанные требования и принципы построения систем данного класса, так и реализующие их функции системы [2, 3, 6]. Предлагается функциональная модель системы, которая представлена на рисунке 3 с детализацией на рисунке 4.

Для реализации функций ИСППР в ее состав введены следующие подсистемы:

- цифровая платформа ($\sigma_{цп}$), которая объединяет в себе базу знаний и фабрики данных, моделирования и развертывания, что позволяет передать сигнал H в управляющую подсистему;
- подсистема интеллектуального анализа данных ($\sigma_{иад}$), которая позволяет проводить различные имитационные эксперименты (прогнозирование текущих и требуемых параметров атмосферы, комплексная оценка текущей и прогнозной продуктивности растений, визуализация развития растений при изменении параметров ПЭ);
- подсистема моделирования ($\sigma_{мод}$), в которой на основе данных экомониторинга выполняется подготовка моделей, алгоритмов и программного обеспечения, необходимых для функционирования ИСППР;

– подсистема формирования сценариев управления (σ_{cy}), которая на основании результатов имитационных экспериментов и моделей формирует и передает в цифровую платформу адаптационные сценарии по зонированию сельскохозяйственных территорий в условиях динамики ПЭ и их оценку.

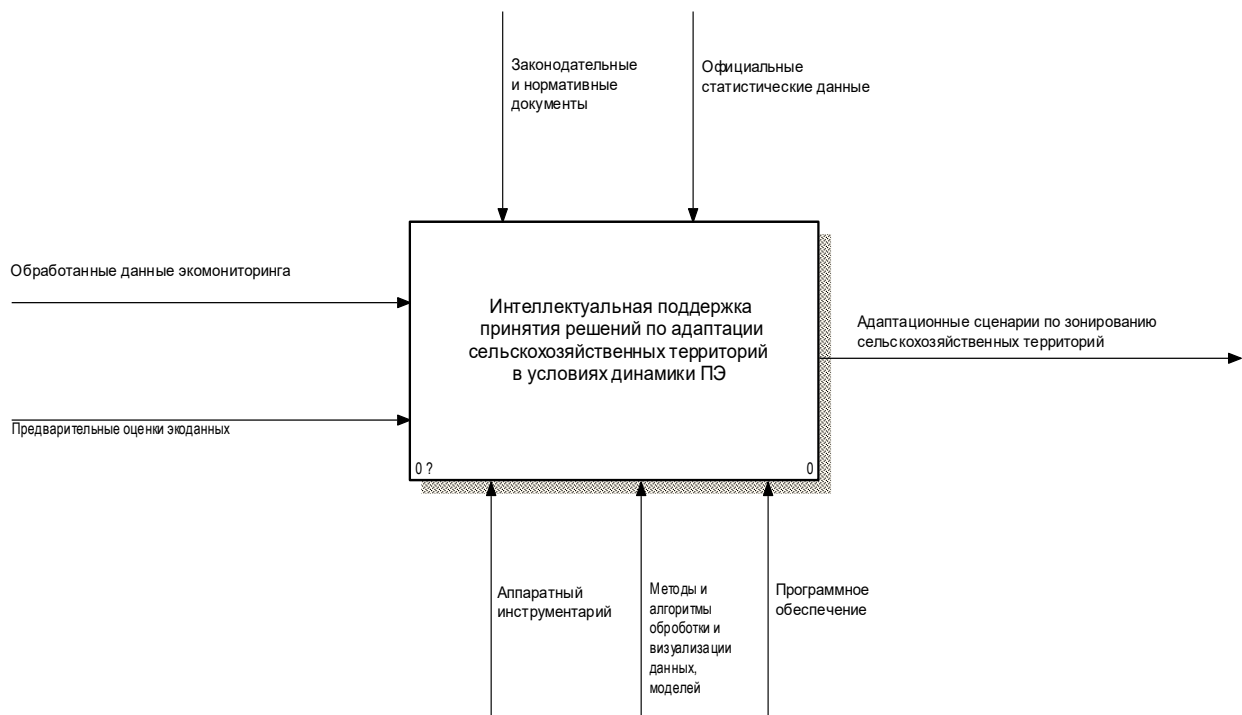


Рисунок 3 – Контекстная диаграмма интеллектуальной системы поддержки принятия решений

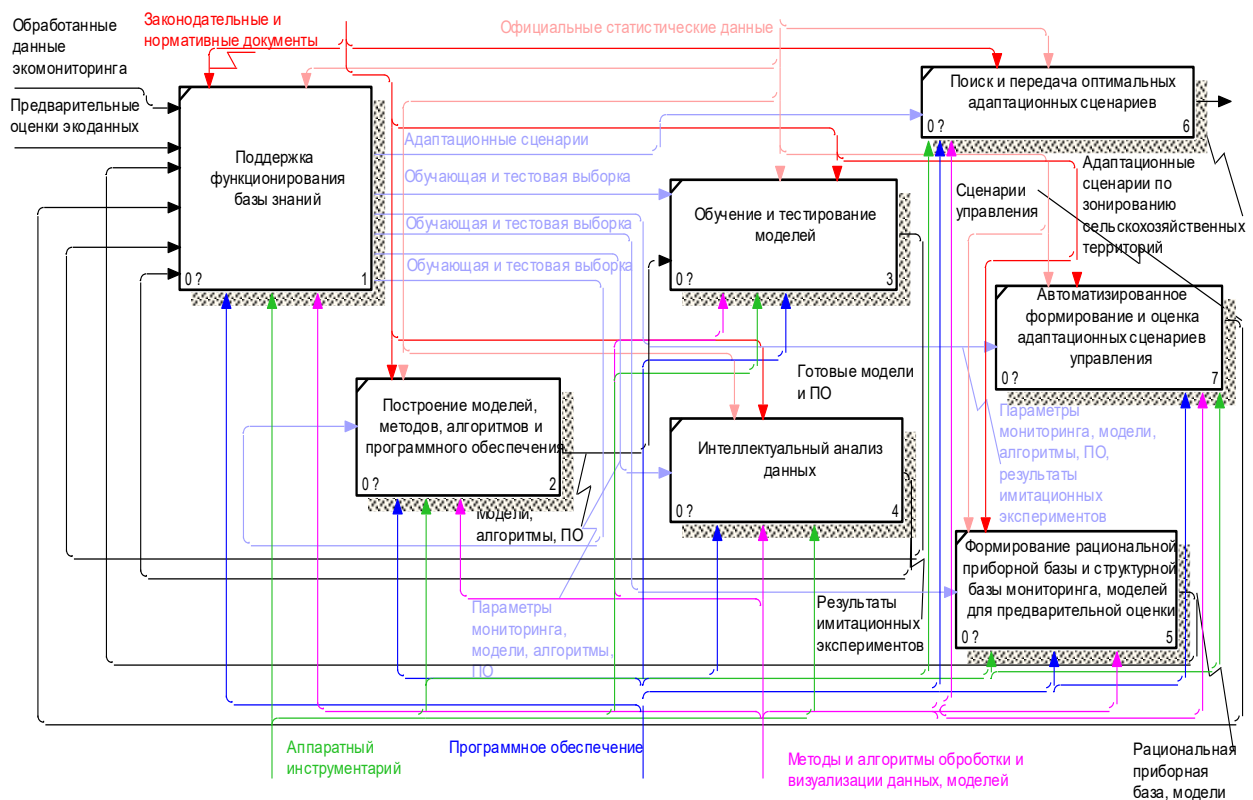


Рисунок 4 – Декомпозиция контекстной диаграммы процесса интеллектуальной поддержки принятия решений

2. O.A. Ivashchuk, V.I. Fedorov, D.V. Goncharov, “Approaches to the Development of an Automated Control System for the Adaptation of Agricultural Areas under the Changing Greenhouse Effect”, *Mathematical Statistician and Engineering Applications*, vol. 71, №3s2, pp. 948, 2022.
3. Иващук, О. А. Разработка метода и алгоритма оценки сельскохозяйственных территорий в условиях динамики парникового эффекта / О. А. Иващук, В. И. Федоров, Д. В. Гончаров // *Инновационные технологии в науке и образовании (Конференция «ИТНО 2022»)* : Сборник научных трудов X Юбилейной международной научно-практической конференции, с. Дивноморское, 26 сентября – 02 2022 года / Редколлегия: Ю.Ф. Лачуга [и др.]. – Ростов-на-Дону: Общество с ограниченной ответственностью «ДГТУ-ПРИНТ», 2022. – С. 232-236. – DOI 10.23947/itse.2022.232-236. – EDN RPYVRU.
4. Ivashchuk O. A., Konstantinov I. S. Supporting ecological safety adaptive management in industrial and transport complex // *Upravlenie Bol'shimi Sistemami*. – 2009. – Т. 25. – С. 96-115.
5. Федоров В. И., Иващук О. А., Ужаринский А. Ю. Разработка модели оценки и прогнозирования состояния почв сельско-городских территорий на основе искусственной нейронной сети // *Научный результат. Информационные технологии*. – 2017. – Т. 2. – №. 4. – С. 3-9.
6. Метод комплексной оценки состояния сельскохозяйственных территорий в условиях динамики парникового эффекта на основе технологии искусственного интеллекта / О. А. Иващук, Д. В. Гончаров, В. И. Федоров, О. И. Гурьянова // *Современные наукоемкие технологии*. – 2023. – № 2. – С. 59-65. – DOI 10.17513/snt.39524. – EDN ORGYOA.
7. Прядкина Г. А. Пигменты, эффективность фотосинтеза и продуктивность пшеницы // *Plant varieties studying and protection*. – 2018. – Т. 14. – №. 1. – С. 97-108.
8. Албегов, Р.Б. Изменение климата Северного Кавказа. Возможные угрозы и ответные меры / Р.Б. Албегов, С.С. Гагиева // *Вестник МАНЭБ*, 2010, т. 15, № 4, С. 162-167.
9. Ашабоков, Б.А. Об одном подходе и некоторых результатах прогнозирования изменений температурного режима воздуха в приземном слое атмосферы в степной и предгорной зонах центральной части Северного Кавказа / Б.А. Ашабоков, Р.М. Бисчоков, Л.Б. Бисчокова // *Доклады АМАН*, № 1, 2008.
10. Полушкина Т. М. Устойчивое развитие сельских территорий через становление органического сельского хозяйства // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. – 2016. – №. 6 (339). – С. 22-32.
11. Климкина Е. В., Морозова Т. В. Реализация стратегии достижения углеродной нейтральности при устойчивом росте экономики аграрного производства // *Управление инновационным развитием агропродовольственных систем на национальном и региональном уровнях* – 2021. – С. 287-293.
12. Швецова А. А., Звягинцева А. В. Информационно-аналитическая система поддержки принятия решений для стратегического планирования развития регионов и городов // *Мягкие измерения и вычисления*. – 2020. – Т. 36. – №. 11. – С. 55-66.

Гончаров Дмитрий Викторович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем
Тел.: +7(960)620-64-14
E-mail: goncharov_dv@bsu.edu.ru

Иващук Ольга Александровна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Д.т.н., профессор, профессор кафедры информационных и робототехнических систем
Тел.: +7(4722) 30-13-76
E-mail: ivaschuk@bsu.edu.ru

Федоров Вячеслав Игоревич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
К.т.н., доцент кафедры информационных и робототехнических систем
Тел.: +7(4722) 30-13-76
E-mail: ivaschuk@bsu.edu.ru

УДК 004.89

А.А. ЖИГАЛОВ, О.А. ИВАЩУК, О.О. ИВАЩУК, М.Б. ЖУМАДИЛОВА
A.A. ZHIGALOV, O.A. IVASHCHUK, O.O. IVASHCHUK, M.B. ZHUMADILOVA

ПОДХОДЫ К БИОМЕТРИЧЕСКОЙ ДЕТЕКЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО АППАРАТА

APPROACHES TO BIOMETRIC DETECTION OF FARM ANIMALS BASED ON NEURAL NETWORK APPARATUS

В данной статье представлены результаты разработки и исследования методов и моделей детекции (выделения особей) сельскохозяйственных животных на изображениях на примере свиней, которые находятся на агрокомплексах в плотных динамичных группах и к которым плохо применимы традиционные методы идентификации. Для решения задачи выбраны перспективные нейросетевые архитектуры Faster R-CNN и YOLOv5, выполнена тонкая настройка и обучение нейронных сетей. Применение сети YOLOv5 позволило достигнуть точности детекции $mAP=94,05\%$, что существенно выше точности, показанной в аналогичных работах.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, детекция, трекинг, распознавание лиц, распознавание и идентификация животных, неинвазивный автоматизированный мониторинг, YOLOv5.

This article presents the results of the development and research of methods and models for the detection (isolation of individuals) of farm animals in images using the example of pigs that are in agro-complexes in dense dynamic groups and to which traditional identification methods are poorly applicable. To solve the problem, promising neural network architectures Faster R-CNN and YOLOv5 were chosen, fine-tuning and training of neural networks were performed. The use of the YOLOv5 network made it possible to achieve the detection accuracy $mAP=94.05\%$, which is significantly higher than the accuracy shown in similar works.

Keywords: artificial neural network, detection, tracking, face recognition, animal recognition and identification, non-invasive automated monitoring, YOLOv5.

В современном мире активно развиваются наукоемкие технологии, основанные на искусственных нейронных сетях (ИНС), в том числе применительно к задачам мониторинга состояния и перемещения живых объектов сельскохозяйственного производства. Следует отметить, что основными показателями технологической эффективности животноводства считаются продуктивность, трудоемкость и материалоемкость [1,2]. Реализация видеонаблюдения с последующей нейросетевой обработкой информации обеспечит автоматическое отслеживание роста, набора массы, подсчета животных [3,3,5].

В настоящей работе предложен способ детекции сельскохозяйственных животных на изображениях на примере свиней. Распознавание свиней в некоторых аспектах сложнее, чем других животных. В отличие от коров, свиные часто не имеют уникального рисунка, в том числе на морде, при этом правильной идентификации мешают загрязнения. Особая сложность детекции свиней определяется тем, что они сбиваются в плотные группы как при движении, так и в состоянии покоя. Это существенно затрудняет выделение особей и отслеживание их перемещений.

Задача, решаемая в настоящей работе – выполнение детекции «лиц» свиней в группах на изображениях с помощью глубоких нейронных сетей. Термин «лицо» здесь используется из-за схожести с популярной задачей детекции лиц людей, однако разработка нейросетей для детекции животных – отдельная задача, при решении которой необходимо учитывать специфику их внешних характеристик и поведения. В качестве исходных ИНС взяты известные, признанные наиболее эффективными на данный момент архитектуры детекции объектов: YOLOv5 [5], Faster R-CNN [6] с основой ResNet-50 [7; 8] и с основой MobileNetV3 [9]. Проведена настройка сетей с учетом вышеуказанных особенностей поведения свиней. Выполнено обучение нейросетей на наборе данных из 1200 фотографий, в том числе содержащих плотные группы животных, проведен сравнительный анализ качества детекции и скорости работы сетей. Достигнуты результаты, обеспечивающие точность (mAP – Mean average precision –

общепринятый показатель точности детекции, описанный, например, в [10]), что существенно выше точности, показанной в аналогичной работе, где выполнена детекция «лиц» свиней на фотографиях с несколькими животными ($mAP = 90,18\%$ [10]). Сделан вывод о том, что сеть YOLOv5 показывает наилучшие результаты точности при детекции «лиц» свиней.

В качестве наборов данных для обучения и оценки качества работы обученной сети использовались 1200 и 130 (соответственно) фотографий свиней, полученных из открытых источников.

В таблице 1 приведены результаты оценки качества детекции «лиц» свиней на изображениях с помощью ИНС различных типов (в %), а также среднее время детекции «лиц» на одной фотографии (в миллисекундах).

Таблица 1 – Оценка качества детекции «лиц» свиней на изображениях (в %) и среднее время детекции объектов на одной фотографии (ms)

Вид нейронной сети	Backbone	$mAP^{PASCAL VOC}$	$AP@[0.50:0.5:0.95]$	$AP@.50$	$AP@.75$	AP^{small}	AP^{medium}	AP^{large}	Среднее время детекции «лиц» свиней на одной фотографии, ms
Faster R-CNN-FPN	ResNet-50	88,18	65,06	87,41	75,58	37,03	46,71	71,49	40,1
	MobileNet-v3-large	87,22	66,02	87,20	76,52	11,83	40,25	75,48	21,5
YOLOv5x6	YOLOv5x6	94,05	78,80	93,45	86,84	51,58	59,68	85,67	25,3

Информация в таблице 1 свидетельствует о том, что качество детекции «лиц» свиней сетью YOLOv5x6, существенно выше, чем Faster R-CNN-FPN с ResNet-50 и с MobileNet-v3-large в качестве backbone. Среднее время детекции «лиц» на одной фотографии с помощью Faster R-CNN-FPN с MobileNet-v3-large в качестве backbone несколько меньше, чем у YOLOv5x6, однако разница незначительная.

На рисунках 1 и 2 приведены результаты детекции «лиц» свиней с помощью YOLOv5 в современной модификации YOLOv5x6 (рисунки 1-а, 2-а) и Faster R-CNN-FPN с backbone ResNet-50 (рисунки 1-б, 2-б).

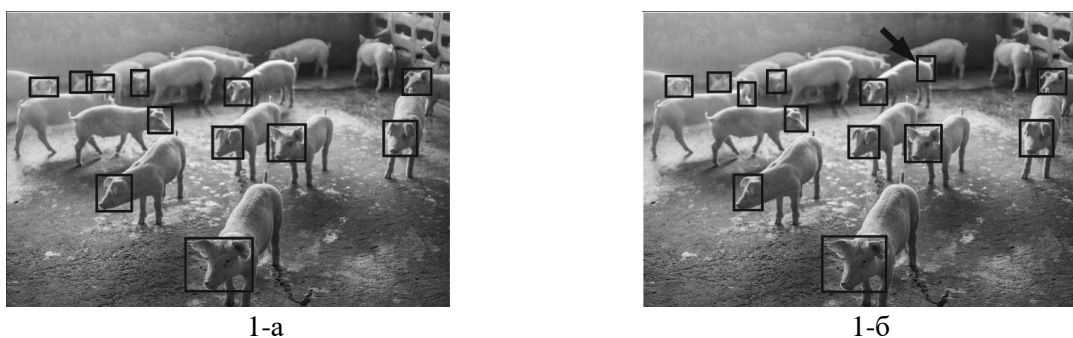


Рисунок 1 – Результаты детекции «лиц» свиней для YOLOv5 и Faster R-CNN-FPN с backbone ResNet-50 (фотография в загоне)

Видно, что обе нейронные сети предсказали почти все «лица» свиней на фотографиях. На рисунке 1-б указано стрелкой, что нейросеть Faster R-CNN-FPN неверно предсказала один прямоугольник. На рисунке 2-б указан стрелкой прямоугольник у «лица» свиноматки (маленького размера, в плотной группе), которое сеть Faster R-CNN-FPN обнаружила, а YOLOv5x6 не нашла.

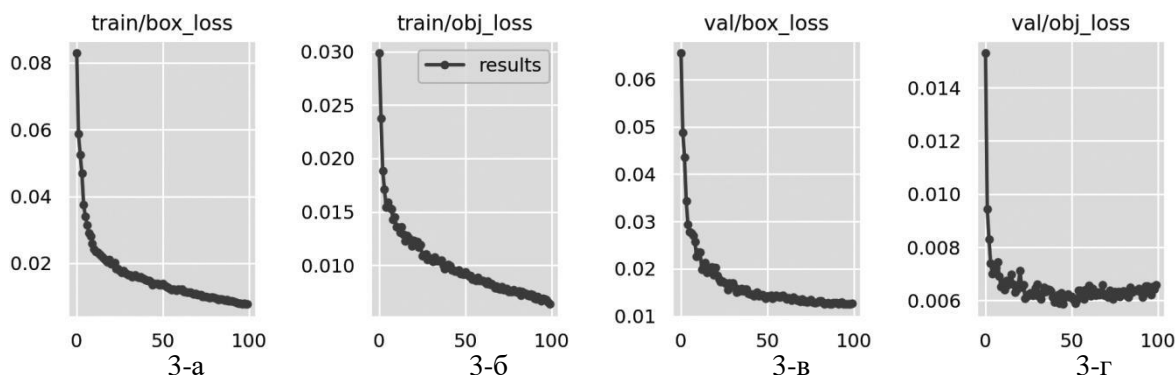
Таким образом, по результатам экспериментов можно сделать вывод, что YOLOv5x6 лучшая сеть (из рассмотренных в статье) с учетом качества и скорости детекции.

На рисунке 3 приведены графики, характеризующие процесс обучения нейронной сети YOLOv5x6, показавшей высшее качество детекции из рассмотренных сетей.



2-а 2-б
Рисунок 2 – Результаты детекции «лиц» свиней для YOLOv5 и Faster R-CNN-FPN с backbone ResNet-50 (фотография в поле)

При обучении использовались следующие параметры: размер батча данных – 12, количество классов объектов – 1, исходное изображение преобразовывалось к размеру 400x400. Значения остальных параметров выбирались «по умолчанию» [5]. На рисунках 3-а, 3-в показано изменение лосс-функций, используемых для оценки расхождения между координатами исходных и предсказанных прямоугольников при обучении и валидации соответственно, а на рисунках 3-б, 3-г – изменение лосс-функций, используемых для оценки расхождений между истинными и предсказанными классами объектов при обучении и валидации соответственно.



3-а 3-б 3-в 3-г
Рисунок 3 – Изменение лосс-функций при обучении и валидации нейросети YOLOv5x6

В процессе проведенных исследований решены следующие основные задачи:

- подбор перспективных методов для детекции «лиц» свиней в плотных группах на изображениях на основе анализа научно-технической литературы, а именно нейросетевых архитектур Faster R-CNN-FPN (содержащих в качестве основы глубокие нейронные сети серии ResNet и MobileNet) и YOLOv5;
- получение набора данных, содержащих изображения свиней, для тренировки ИНС;
- тонкая настройка ИНС, а именно: выбор основы (backbone) – глубокой сверточной сети, выполняющей извлечение «карт признаков», определение оптимального количества «размороженных» для тренировки слоев backbone, выбор и настройка параметров оптимизатора, в том числе скорости обучения (learning rate) и параметров ее изменения в процессе обучения, выбор размера батчей и числа эпох обучения, выбор способа преобразования исходных данных (аугментации) для небольшого изменения изображений на разных эпохах обучения;
- обучение ИНС;
- анализ результатов детекции.

Применение сети YOLOv5 в модификации YOLOv5x6 позволило достигнуть точности детекции $mAP^{PASCAL VOC} = 94,05\%$ при пороге $T_{IoU} = 0.5$, что существенно выше точности, показанной в работе [10]: $mAP^{PASCAL VOC} = 90,18\%$ (на момент написания статьи авторам неизвестны другие работы по детекции «лиц» свиней в группах на изображениях). Из нейросетей, рассмотренных в настоящей статье, сеть YOLOv5x6 показала существенно лучшие результаты по качеству детекции, незначительно уступая в скорости сети Faster R-CNN-FPN с с MobileNet-v3-large в качестве backbone.

Направления дальнейших исследований:

- проведение экспериментов в условиях свинофермы – установка и настройка видеокамер и компьютера, реализующего обработку данных с помощью нейронных сетей;
- разработка методов идентификации свиней по «лицам»;
- разработка методов трекинга свиней (при их идентификации по «лицам»);
- классификация поведения свиней (выдвижение гипотез о заболеваниях, неоптимальной температуре в помещении и т.д.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эффективность сельскохозяйственного производства (методические рекомендации). – М: Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, 2005. – 156 с.
2. Сельское хозяйство в России 2021 (статистический сборник). – М.: Росстат, 2021. – 100 с.
3. Neethirajan S. The role of sensors, big data and machine learning in modern animal farming. – Sensing and Bio-Sensing Research, 2020. – V.29.
4. Yang Q., Xiao D. A review of video-based pig behavior recognition. – Applied Animal Behaviour Science, 2020. – V.233.
5. [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/ultralytics/yolov5> (дата обращения: 21.06.2022).
6. Ren S., He K., Girshick R., Sun J. Faster R-CNN: towards real-time object detection with region proposal networks. – IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell, 2017 – V.39. P.1137–1149.
7. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep residual learning for image recognition. – IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2016. – P.770–778.
8. [Электронный ресурс]. URL: <https://pytorch.org/vision/stable/generated/torchvision.models.resnet50.html> (дата обращения: 20.06.2022).
9. [Электронный ресурс]. URL: https://pytorch.org/vision/0.12/_modules/torchvision/models/mobilenetv3.html (дата обращения: 18.06.2022).
10. Padilla R., Passos W.L., Dias T.L.B., Netto S.L., da Silva E.A.B. A Comparative Analysis of Object Detection Metrics with a Companion Open-Source Toolkit. – Electronics, 2021. – V.10.
11. Li G., Jiao J., Shi G., Ma H., Gu L., Tao L. Fast Recognition of Pig Faces Based on Improved Yolov3. – Journal of Physics: Conference Series, 2022. – V.2171.

Жигалов Алексей Алексеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем
+7 952 426 20 55
E-mail: jjgaloff@gmail.com

Иващук Ольга Александровна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Д.т.н., профессор, профессор кафедры информационных и робототехнических систем
Тел.: +7(4722) 30-13-76
E-mail: olga.ivashuk@mail.ru

Иващук Олег Орестович

Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова, г. Актау, Казахстан
К.ф.-м.н., доцент кафедры компьютерных наук факультета науки и технологий
+7 951 134 87 89
E-mail: olga.ivashuk@mail.ru

Мереке Баяновна Жумадилова

Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова, г. Актау, Казахстан
К.т.н., ассоциированный профессор, заведующий кафедрой компьютерных наук
+7 707 689 33 66
E-mail: mereke.zhumadilova@yu.edu.kz

УДК 004.04

О.Д. ИВАЩУК, О.О. ИВАЩУК, С.В. ИГРУНОВА, Е.В. НЕСТЕРОВА, Б.Е. ЯГАЛИЕВА
O.D. IVASCHUK, O.O. IVASCHUK, S.V. IGRUNOVA,
E.V. NESTEROVA, B.E. YAGALIEVA

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА УСРЕДНЕНИЯ ДЛЯ БУНКЕРА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ

SIMULATION MODEL FOR OPTIMIZING THE PARAMETERS OF THE AVERAGING PROCESS FOR THE MIXING HOPPER

В данной статье авторы предлагают к рассмотрению имитационную модель оптимизации параметров процесса усреднения для бункера перемешивания. Повышение качества продукции и рост технико-экономических показателей горно-обогатительных предприятий во многом зависит от однородности качества исходных продуктов, а стабильно высокое качество конечных продуктов обогащения – от качества сырья, поступающего на обогатительную фабрику. В ходе исследования автоматизировали процесс оценивания среднеквадратичного отклонения показателя качества товарного концентрата после его усреднения в бункере перемешивания и разработана имитационная модель, в результате тестирования которой были сформированы рекомендации по оптимизации параметров процесса усреднения.

Ключевые слова: имитационная модель, усреднение, бункер перемешивания.

In this article, the authors propose to consider a simulation model for optimizing the parameters of the averaging process for the mixing hopper. The improvement of product quality and the growth of technical and economic indicators of mining and processing enterprises largely depends on the uniformity of the quality of the initial products, and the consistently high quality of the final products of enrichment depends on the quality of raw materials entering the processing plant. In the course of the study, the process of estimating the standard deviation of the quality indicator of commercial concentrate after its averaging in the mixing hopper was automated and a simulation model was developed, as a result of testing which recommendations were formed to optimize the parameters of the averaging process.

Keywords: simulation model, averaging, mixing hopper.

Одним из главных направлений повышения качества продукции и эффективности производства – совершенствование существующих производственных схем за счет проведения их модернизации внедрения новых технологий [1].

Значительное снижение производительности плавильных печей, работающих на не усреднённом сырье, а также снижение степени извлечения ценных компонентов в процессе переработки являются основными предпосылками к усреднению качества добываемой руды и товарного концентрата [7], которое в горном деле, обогащении полезных ископаемых и металлургии является распространённой технологической операцией, цель которой выравнивание химического и гранулометрического состава полезных ископаемых и концентратов на разных стадиях добычи и переработки, повышения уровня однородности качества исходного сырья по признакам, характеризующим его обогатимость.

В ходе исследований, проводимых различными авторами [1,4,5] задача оценки эффективности описана достаточно слабо, приводимые решения имеют крайне узкую направленность и выполнены на качественном уровне, с использованием приближенных оценок, в своем большинстве без достаточного объяснения, а их использование затруднительно по причине необходимости использования корреляционных функций потоков руды или товарного концентрата, точное определение которых в обычных производственных условиях фактически не возможно.

Важность задачи усреднения определяет необходимость разработки методов прогнозной оценки изменения вариативности параметров выходного продукта, которая позволила бы минимизировать капитальные вложения, позволяющие получить требуемый уровень усреднения.

Отбор тонких классов крупности позволяет получить более эффективно раскрытый по магнетиту материал и потери металла [1, 10].

Решение задачи усреднения [9] на основе модели оптимизации затрат, реализована в многоуровневой системе поддержки принятия решений, которая предварительно обрабатывает данные для материалов и элементов, строит общую базу данных, абстрагирует связанные модели исследования оптимальных операций и вводит механизм рассуждения экспертной системы. Главным недостатком этой системы является необходимость постоянного контроля процессов и наличие дорогостоящего оборудования, позволяющего оперативно менять производственных параметры процесса, что вызывает существенные сомнения в целесообразности внедрения подобных систем, сама работа которых требует дополнительных материальных и финансовых ресурсов, в том числе, дополнительных замеров и контроля [10].

Для оперативности смены параметров технологического процесса предлагается имитационная модель оценивания ожидаемой вариативности качества товарного концентрата обогатительной фабрики ГОК при изменении объема смесительного бункера, которая включает процедуры:

- оценка снижения вариативности показателя « $Fe_{общ}$ » за счет фактически происходящего процесса перемешивания продукта;
- прогнозирование снижения вариативности показателя $Fe_{общ}$ за счет изменения параметров процесса перемешивания продукта;
- формирование схемы оценивания эффективности усреднения товарного концентрата;
- оценка эффективности усреднения.

Усреднение - многоуровневый технологический процесс, начинающийся в забоях рудника, длящийся на складах карьеров или шахт, дробильно-сортировочных, обогатительных и агломерационных фабриках, заканчивающийся на металлургических заводах и предприятиях, выпускающих конечный продукт [8].

Применяемые способы усреднения в большинстве основаны на многократном перемешивании руд посредством их послойной загрузки в открытые штабели или бункера, что позволяет достичь снижения вариативности химических и гранулометрических параметров составов руд и концентратов. Эффективность усреднения растет с увеличением размеров штабелей и бункеров, и на складах объемом около 100 тыс. колебания железа в руде снижаются с ± 3 до ± 1 % [7].

Усреднение полезного ископаемого осуществляется на всех стадиях промышленного освоения месторождения и является составной частью управления комплексом горных работ. Оно подразделяется на генеральное, перспективное, текущее и оперативное.

Среднее содержание расчетного компонента α в усредненной руде определяют по уравнению баланса

$$\alpha = \frac{Q_1\alpha_1 + Q_2\alpha_2 + \dots + Q_n\alpha_n}{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n} \quad \# (1)$$

где Q_1, Q_2, \dots, Q_n – добыча руды на отдельных участках, т/ч;

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ — содержание расчетного компонента в руде отдельных участков, %.

Изменчивость качественных показателей полезного ископаемого и степень их стабилизации характеризуется также следующими показателями [8]: среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации контролируемого качественного показателя, средний период колебаний контролируемого качественного показателя определяется по пространственному или временному графику колебания, частота колебаний показателя качества, коэффициент усреднения, характеризующий степень стабилизации качества при усреднении и другие.

Оценка эффективности усреднения проводилась с использованием производственных данных обогатительной фабрики Старооскольского горно-обогатительного комбината, полученных за период с января по сентябрь 2022 года. Массив данных содержал данные, характеризующие объемы поступающих в бункер смешения партий товарного концентрата, средние значения основного показателя их качества – объемной доли содержания в них железа $Fe_{общ}$.

В процессе проведения исследования был рассмотрен период поступления в бункер, когда новая партия успевает фактически полностью вытеснить находящийся в нем объем предыдущей партии и в конце периода ее поступления значение показателя $Fe_{общ}$ в бункере близко к значению

этого показателя в поступающей партии. Была проведена оценка соотношения объема бункера смешения и среднего объема поступающих в него партий товарного концентрата.

В связи с тем, что необходима проверка точности проведенного прогноза, но:

– за счет включения значений $Fe_{\text{общ}}$ товарного концентрата на выходе из бункера перемешивания в базу производственных данных, база данных расширяется;

– с учетом достаточно большого (четырёхчасового) интервала поступления одной партии, потребует значительного времени для обработки данных.

По этой причине возникла необходимость разработки дополнительной прогнозной модели, с помощью которой можно было бы верифицировать надежность формируемого прогноза, или провести его корректировку.

Построение новой прогнозной системы проводилось с использованием модели идеального перемешивания. Работа прогнозной системы идеального перемешивания характеризуется большой интенсивностью смешения, что позволяет поступающей партия вещества сразу распространяется по всему объему смесителя и появляется в выходящей из бункера массе, т.е. каждое входное возмущение мгновенно оказывает влияние на выходящий поток.

С учетом того, что $c_{\text{вх}}(t)$ и $c_{\text{вх}}(t)$ - концентрации на входе и выходе, а объемный расход смеси - v , входной поток вещества определяется как:

$$J_{M,\text{вх}}(t) = v \cdot c_{\text{вх}}(t) \quad (2)$$

А выходной поток будет равен:

$$J_{M,\text{вых}}(t) = v \cdot c_{\text{вых}}(t) \quad (3)$$

Изменение массы вещества в аппарате за время от 0 до t , будет определяться как:

$$\Delta M = \int_0^t (J_{M,\text{вх}}(t) - J_{M,\text{вых}}(t)) dt \quad (4)$$

Продифференцировав уравнение (3.3) по времени с учетом того, что масса вещества в аппарате смешения равна произведению концентрации на объем бункера смесителя, и использовав для входного и выходного потоков выражения.

Принимая во внимание, что в начальный момент времени концентрации в аппарате равняется постоянной величине, разделив обе части уравнения на объемный расход смеси v . и разделим обе его части на величину времени пребывания массы в смесителе $t_{\text{ср}}$ и выполним операцию разделения переменных. В результате получим уравнение в полных дифференциалах:

$$\frac{d(C_{\text{ВЫХ}}(t))}{A - C_{\text{ВЫХ}}(t)} = \frac{1}{t_{\text{ср}}} dt \quad (5)$$

После интегрирования полученного уравнения получаем:

$$-\ln[A - C_{\text{ВЫХ}}(t)] = \frac{1}{t_{\text{ср}}} t + \ln[D] \quad (6)$$

где D – постоянная интегрирования, которая может быть определена из начальных условий: при $t=0$ $c_{\text{вх}}(t) = 0$. Отсюда получаем, что $-\ln(A)=\ln(D)$.

Подставляя найденное значение произвольной постоянной в уравнение (6), получим:

$$\begin{aligned} -\ln[A - C_{\text{ВЫХ}}(t)] &= \frac{1}{t_{\text{ср}}} t - \ln[A] \\ \text{и } \ln[A] - \ln[A - C_{\text{ВЫХ}}(t)] &= \frac{1}{t_{\text{ср}}} t \end{aligned} \quad (7)$$

Проведя потенцирование получим

$$\frac{A - C_{\text{ВЫХ}}(t)}{A} = e^{-\frac{t}{t_{\text{CP}}}}$$

$$\text{И } C_{\text{ВЫХ}}(t) = A \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{t_{\text{CP}}}}\right) \quad (8)$$

На рисунке 1 приведен график изменения выходной концентрации при воздействии на вход единичного ступенчатого возмущения в предположении, что $t_{\text{CP}} = 4$, а ступенчатое возмущение равно 10.

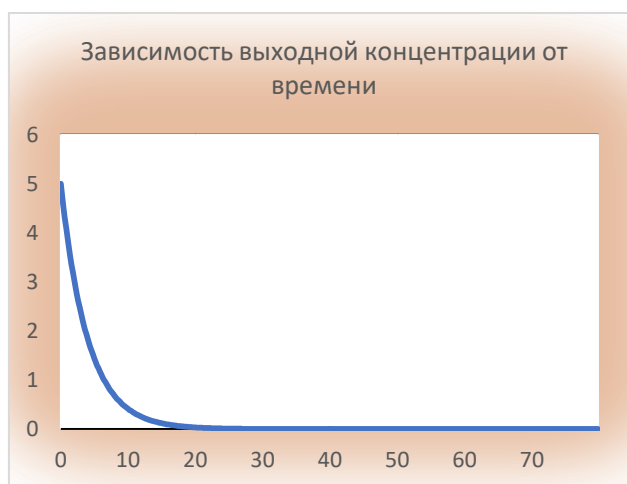


Рисунок 1 – Зависимость выходной концентрации (кривая разгона) аппарата идеального перемешивания при ступенчатом единичном возмущении на входе

Если в качестве времени принять $t = t_{\text{CP}}$, тогда получим:

$$C_{\text{ВЫХ}}(t) = A \cdot (1 - e^{-1}) = 0.633 \cdot A \quad (9)$$

Полученное значение свидетельствует о том, что среднее время пребывания в аппарате идеального перемешивания есть время, в течение которого выходной параметр $c_{\text{ВЫХ}}(t)$ изменится на 63.3% от величины поступившего возмущения.

$$C_{\text{ВЫХ}}(t) = C_0 + A \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{t_{\text{CP}}}}\right) \text{ при } A > C_0 \quad (10)$$

Для получения массива значений показателя $Fe_{\text{общ}}$ в выходящей из смесителя смеси после прохождения через него n партий концентрата целесообразно использовать численные методы решения и специализированные пакеты.

С этой целью в прикладном пакете Matlab R21b была составлена и, с помощью которой решалась приведенная последовательности дифференциальных уравнений с использованием численного алгоритма повышенной точности. Программа формировала массив выходных значений концентрации показателя качества с дискретизацией 1/10 часа (6 минут) и определяла его основные статистические характеристики.

Для возможности передачи разработанной программы для проведения исследований было создано независимое программное обеспечение, интерфейс которого приведен на рисунке 2.

Чтобы провести оценку эффективности усреднения с использованием разработанного ПО, использующего модель идеального смешения, были определены среднеквадратичные отклонения показателя качества в товарной массе после смесителя при его существующем объёме и планируемом при модернизации схемы перемешивания.

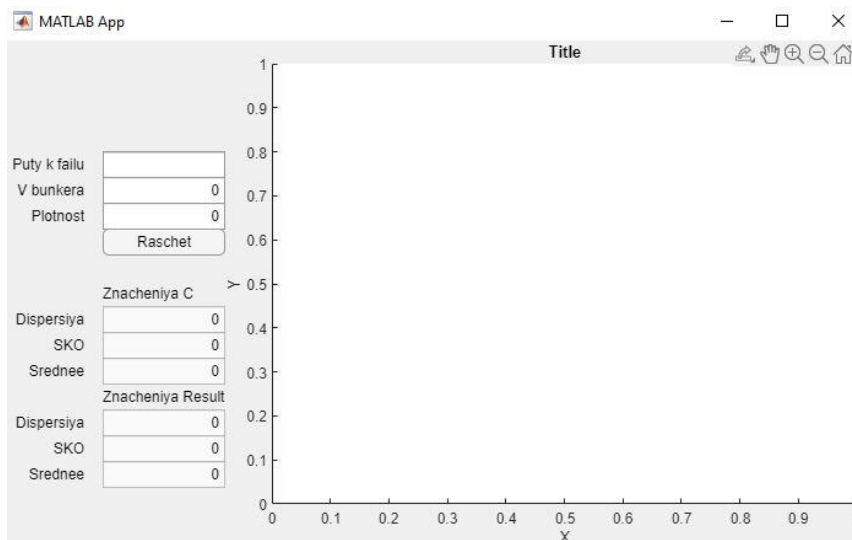


Рисунок 2 – Интерфейс ПО для получения массива значений параметра качества выходящей из смесителя массы после перемешивания произвольного количества партий

На рисунке 3 приведен результат работы ПО для данных январь 2022 года (185 партий).

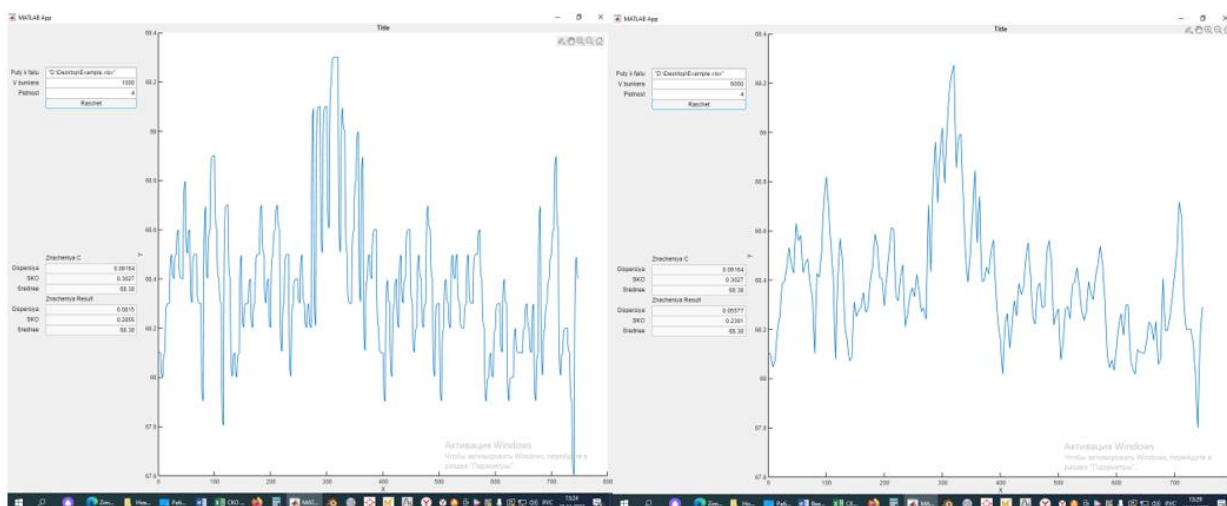


Рисунок 3 – Результат обработки ПО данных января 2022 года (185 партий) при существующей схеме перемешивания (график слева) и при планируемой схеме перемешивания (увеличении объема бункера в 6 раз) (график справа)

Для наглядности и удобства анализа полученные результаты были сведены в единую таблицу (рисунок 4), в которой для сравнения были записаны также оценки, полученные с помощью стандартного метода расчета средневзвешенного скользящего среднего.

Исходя из полученных данных, приведенных на рисунке 4 можно сделать следующие выводы, что расчетные значения среднеквадратичного отклонения, выполненные с помощью модели идеального перемешивания и численного решения последовательности дифференциальных уравнений с изменяющимися начальными условиями (учитывающих значение показателя качества в каждой поступающей партии и значение концентрации $Fe_{общ}$ в бункере смешения на момент начала поступления каждой партии концентрата) выше, чем значения, полученные путем моделирования перемешивания средневзвешенным скользящим средним: 20% - для существующей схемы смешения и 10% - для схемы, планируемой к внедрению. Абсолютное уменьшение СКО при переходе с существующей на планируемую схему, оцененное с помощью модели идеального перемешивания выше в среднем в два раза.

Характеристики	СКО входного массива данных (до перемешивания)	Существующая схема перемешивания	Планируемая схема перемешивания	Абсолютное изменение СКО	Относительное изменение СКО, %
ЯНВАРЬ (185 партий)					
СКО по стандартному методу	0.302	0.238	0.215	-0.022	-9.4
СКО по модели идеального перемешивания		0.285	0.236	-0.049	-17.2
ФЕВРАЛЬ (175 партий)					
СКО по стандартному методу	0.265	0.198	0.169	-0.029	-14.7
СКО по модели идеального перемешивания		0.246	0.188	-0.058	-23.6
МАРТ (206 партий)					
СКО по стандартному методу	0.252	0.176	0.148	-0.028	-15.9
СКО по модели идеального перемешивания		0.236	0.175	-0.061	-25.8
АПРЕЛЬ (186 партий)					
СКО по стандартному методу	0.304	0.231	0.199	-0.032	-13.9
СКО по модели идеального перемешивания		0.285	0.222	-0.063	-22.1
МАЙ (191 партий)					
СКО по стандартному методу	0.246	0.161	0.129	-0.033	-20.3
СКО по модели идеального перемешивания		0.223	0.151	-0.072	-32.3
ИЮНЬ (189 партий)					
СКО по стандартному методу	0.253	0.192	0.168	-0.024	-12.4
СКО по модели идеального перемешивания		0.234	0.183	-0.051	-21.8
ИЮЛЬ (195 партий)					
СКО по стандартному методу	0.251	0.213	0.201	-0.012	-5.6
СКО по модели идеального перемешивания		0.242	0.212	-0.030	-12.4
АВГУСТ (138 партий)					
СКО по стандартному методу	0.194	0.148	0.132	-0.016	-10.9
СКО по модели идеального перемешивания		0.178	0.142	-0.036	-20.2

Рисунок 4 – Сравнение оценок СКО для существующей и планируемой к внедрению схем перемешивания

Полученные с помощью разработанного программного обеспечения значения СКО одно-значно будут более близки к реальным значениям этого показателя, чем полученные стандартным методом, поскольку используемая в нем модель существенно точнее отражает характер реального процесса перемешивания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдохин В.М., Губин С.Л. Современное состояние и основные направления развития процессов глубокого обогащения железных руд // Горный журнал. 2007;(2):58–64. Режим доступа: 4. Lakshmanan V.I., Roy R., Ramachandran R. (eds) Innovative Process Development in Metallurgical Industry. Springer; 2016.
2. Jankovic A., Valery W., Sönmez B., Oliveira R. Effect of circulating load and classification efficiency on HPGR and ball mill capacity// In: XXVII International Mineral Processing Congress, 2014, Chapter 9. Energy efficiency in comminution, pp. 2–14.

3. Немькин С.А., Копанев С.Н., Мезенцева Е.В. Окунев С.М. Производство железорудного концентрата с повышенной долей полезного компонента// Горный журнал. 2017;(5):27–31. DOI:
4. Jahani M., Farzanegan A., Noaparast M. Investigation of screening performance of banana screens using LIGGGHTS DEM solver// Powder Technology. 2015;283:32–47. DOI:
5. Wang G., Tong X. Screening efficiency and screen length of a linear vibrating screen using DEM 3D simulation// Mining Science and Technology. 2011;21(3):451–455. DOI:
6. Авдохин В.М., Губин С.Л. Основные направления развития процессов глубокого обогащения железных руд// Прогрессивные технологии комплексной переработки минерального сырья. М.: Руда и металлы; 2008. С. 164–179.
7. Коротич В. И., Набойченко С. С., Сотников А. И., Грачёв С. В., Фурман Е. Л., Ляшков В. Б. Начала металлургии// Учебник для вузов под ред. В. И. Коротича. — Екатеринбург : УГТУ, 2000. — С. 71—73. — 392 с. — ISBN 5-230-06611-3.
8. Ломоносов Г. Г. Усреднение качества// Горная энциклопедия: [в 5 томах] гл. ред. Е. А. Козловский. — М.: «Советская энциклопедия», 1991. — Т. 5. СССР — Яшма. — С. 276—277. — 541 с. — 44 126 экз. — ISBN 5-85270-007-X.
9. Zhang R., Lu J., Zhang G. A knowledge-based multi-role decision support system for ore blending cost optimization of blast furnaces// European Journal of Operational Research. – 2011. – Т. 215. – №. 1. – С. 194-203.
10. Бастан П. П., Болошин Н.Н. Усреднение руд на горно-обогатительных предприятиях// Недра, 1981.

Ивашук Орест Дмитриевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
К.т.н., доцент кафедры информационных и робототехнических систем
Тел.: +7(961) 176-91-93
E-mail: ivaschuk_o@bsu.edu.ru

Ивашук Олег Орестович

Каспийский университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова, г. Актау, Казахстан
К.ф.-м. н., доцент кафедры компьютерных наук факультета науки и технологий
Тел.: +7(951) 134-87-89
E-mail: ivashchuk@bsu.edu.ru

Игрунова Светлана Васильевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
К.с.н., доцент, доцент кафедры информационных и робототехнических систем
Тел.: +7(910) 329-61-86
E-mail: igrunova@bsu.edu.ru

Нестерова Елена Викторовна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
К.э.н., доцент кафедры информационных и робототехнических систем
Тел.: +7(919) 223-57-13
E-mail: nesterova@bsu.edu.ru

Ягалиева Багдат Есеновна

Каспийский университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова, г. Актау, Казахстан
К.ф.-м.н., и.о. ассоциированный профессор кафедры компьютерных наук, декан факультета науки и технологий
Тел.: 8778 953 56 77
E-mail: bagdat.yagaliyeva@yu.edu.kz

УДК 004.04

О.Д. ИВАЩУК, С. В. ИГРУНОВА, Е.В. НЕСТЕРОВА, А.И. ШТАНА, В.А. ДУНАЕВА
O.D. IVASCHUK, S.V. IGRUNOVA, E.V. NESTEROVA, A.I. SHTANA, V.A. DUNAEVA

МНОГОКОМПОНЕНТНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАЛКОВЫХ МЕЛЬНИЦ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

MULTI-COMPONENT APPROACH TO ASSESSING THE EFFICIENCY OF ROLL MILLS IN PROCESSING PLANTS

В данной статье авторы предлагают к рассмотрению многокомпонентный подход к оценке эффективности валковых мельниц обогатительной фабрики, базирующийся на применении совокупности предварительно построенных различных математических моделей. С целью повышения удобства проведения верификации получаемых результатов с помощью регрессионной модели создано независимое приложение, позволяющее проводить оценку ожидаемой производительности моделью, построенной на базе искусственной нейронной сети.

Ключевые слова: обогатительная фабрика, горно-обогатительный комбинат, валковые мельницы, оценка эффективности, нейронная сеть, MATLAB R2021a.

In this article, the authors propose for consideration a multicomponent approach to assessing the efficiency of roller mills at a concentrating plant, based on the use of a set of pre-built various mathematical models. In order to improve the convenience of verifying the results obtained using a regression model, an independent application has been created that allows you to evaluate the expected performance of a model built on the basis of an artificial neural network.

Keywords: processing plant, mining and processing plant, roller mills, efficiency evaluation, neural network, MATLAB R2021a.

В современных условиях развития цифровой экономики проблема адекватной оценки эффективности работы обогатительной фабрики, ее оборудования приобретает особую важность. При этом адекватность оценки тесно связана с задачей повышения выхода нормативного железорудного концентрата.

Оценка эффективности базируется с одной стороны на подходах, применяемых для определения эффективности работы оборудования и ее повышения, основанных на применении как традиционных методов с использованием физико-химических моделей, стандартных технологий оптимального управления производственными процессами, так и на использовании стремительно развивающихся методов интеллектуального анализа, довольно широко описанных в литературных источниках [1, 2]. С другой стороны, вопросы, связанные с задачами прогнозирования эффективности работы оборудования, особенно обогатительных фабрик, освещены не полно, а приведенные оценки являются по большей части приближенными и имеющими не приемлемый уровень достоверности [3,4]. Особенно важно отметить, что описанные схемы оценки эффективности мельниц ОФ (обогатительной фабрики) в основном построены как функции от технологических параметров и не учитывают ее связь с минералогическим составом руды, являются упрощенными и не могут быть использованы в качестве надежного прогнозного инструмента [5, 9].

Технологический процесс измельчения питающей ОФ руды необходимо представлять как сложную и слабо формализуемую систему, для полноценного анализа которой необходимо применения многокомпонентного подхода, использующего совокупность различных математических моделей, применяемых на различных этапах исследования.

Задача формирования многокомпонентного подхода, объединяющего в себе применение различных дополняющих друг друга прогнозных математических моделей оценки эффективности работы мельниц ОФ, позволяющих произвести взаимную верификацию качества и адекватности прогнозирования, является актуальной, а ее востребованность определяется необходимостью про-

ведения достоверного прогнозирования объемов выпуска в период перехода фабрики на использование руды с изменившимися характеристиками.

С развитием IT-технологий все большую роль в задачах, связанных с анализом данных, их взаимосвязи и характера зависимостей выходных и входных показателей применяются методы интеллектуального анализа данных. В частности подход, основанный на применении нейросетевых алгоритмов, является альтернативным методом решения задачи оптимизации и оценки степени связи факторов [6, 7].

В данном исследовании было проведено оценивание точности прогнозирования эффективности работы мельниц обогатительной фабрики на Белгородском ГОКе с использованием баз производственных данных за период 2019-2022гг, а также прогнозирование ожидаемых значений производительности мельниц ОФ на период 2023 года с учетом ожидаемого гранулометрического состава питающей железной руды.

Формирование многокомпонентного подхода оценки эффективности валковых мельниц ОФ.

На первом этапе исследования была проведена первичная обработка данных ГОК Белгородской области, в которую входили операции соединения полученных информационных массивов в единую БД, согласование параметров по времени и сортировка по суточным наборам показателей.

После чего из общей БД были выделены данные по секциям, из которых были отброшены суточные наборы показателей, когда суммарное время работы всех мельниц соответствующей секции было менее 95% от максимально возможного. БД секция соединены в единую общую базу данных с учетом требований по необходимым периодам рассмотрения: с 20.12.2021 г.; 18.01.2022 г.; с 29.12.2021 г. В результате была получена БД, размер массива которой составил 432x28 – где 432 – это количество суточных данных, а 28 – общее количество факторов, включая результирующий показатель – «Производительность».

Для обработки данных и построения полей корреляции всех параметров с результирующим был выбран специализированный пакет MATLAB R2021a, на рисунке 1 показаны поля корреляции некоторых факторов с результирующим показателем.

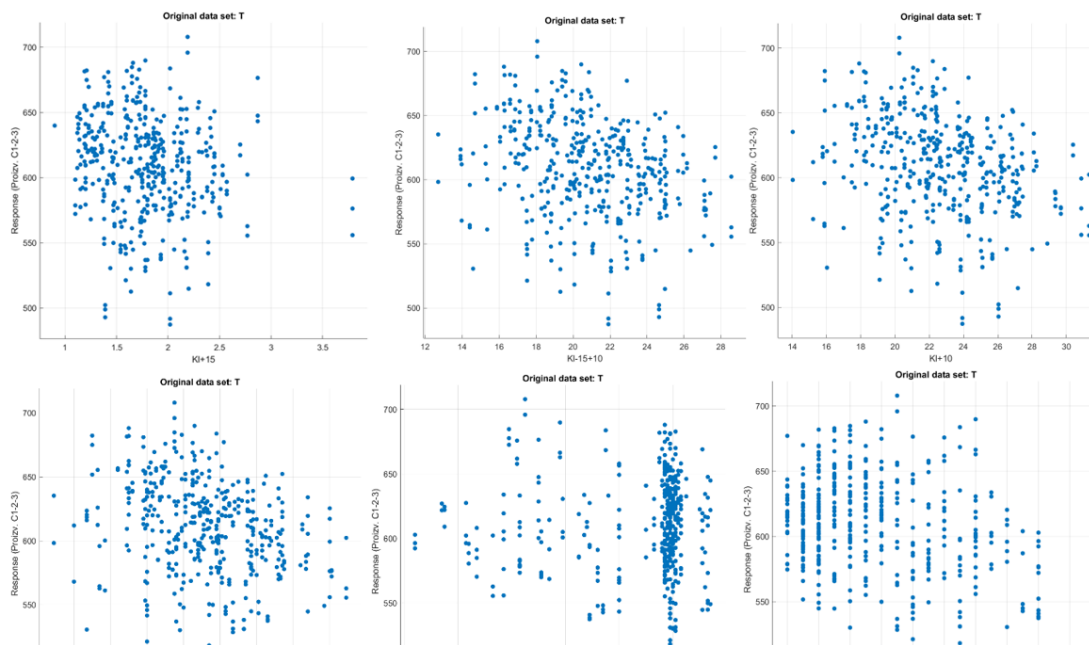


Рисунок 1 – Поля корреляции некоторых факторов с результирующим показателем

На основании этих данных достоверное влияние на результирующий фактор имеет предиктор «Кл-0.045». Из проведенного поиска наиболее приемлемой из простейших предсказатель-

ных моделей: деревья решений Fine, Medium и Coarse Tree и линейная регрессия была выбрана простейшая линейная регрессионная зависимость, точность предсказания которой в плане средне-квадратичной ошибки составила 27,4 на рисунке 2.

Таким образом, с учетом среднего значения фактической производительности за период (608,7) составило менее 4,6%. С другой стороны, анализируя график остатков (отклонений) из рисунка 2 видно, что большая часть данных укладывается в диапазон отклонений ± 20 (примерно 60%), около 25 % лежат в диапазоне, ширина которого вдвое больше. Также имеют место около 3% точек, для которых отклонения предсказания модели от факта для которых превышают величину 10%. Поэтому те данные, у которых значения фактической производительности находятся на границах кривой их распределения, были отброшены это порядка 3% суточных наборов данных.

Поскольку количество обрабатываемых значений достаточно велико 27 предикторов, имело смысл попробовать провести очистку данных такого же типа (это фактически очистка от выбросов) для всех параметров и, если общее количество данных сократится не очень существенно (не более чем на 15-20%), далее проводить обработку уже такой уменьшенной, но более «чистой» БД.

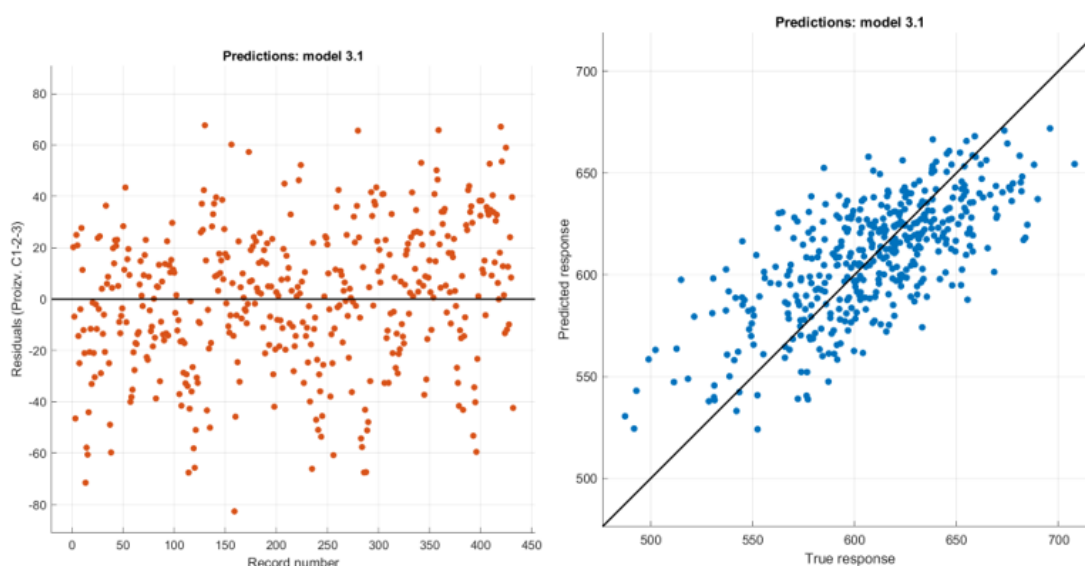


Рисунок 2 – График отклонений линейной регрессионной модели для данных сводной БД и положения точек фактических значений относительно регрессионной кривой

С этой целью проведено экспортирование созданной модели в MATLAB в рабочую область и с помощью функции `plotPredictorImportance` извлечены характеристики важности используемых в модели предикторов представлены на рисунке 3.

Общ., Кл +15	Общ., -15+10	Общ., Кл +10	Общ., -10+5	Общ., -5+0	Общ., D ср/в	Влага в руде	Влага в кон-те	Хвосты, Fe общ.	Хвосты, Fe mg	Сек-1, Fe общ.	Сек-1, Кл.-0.045	Жел.сл.	Магнетит
0.06	0.06	0.00	1.26	0.91	0.15	0.23	0.14	0.79	0.34	2.47	6.49	0.41	0.72
Кум/маг	Био/маг	Биотит	Дайка	Полуок	Окислен	Мелкое	Т/вкр	С ш/п	С эгирин	С актинол	Круп и с.з.	Обог-ть	
0.03	0.00	0.14	0.00	0.58	0.06	0.02	0.44	0.43	0.70	0.00	1.39	0	

Рисунок 3 – Значимости факторов, полученные по методу Деревья решений

С целью верификации и возможной корректировки полученных выводов связь параметров была оценена с помощью матрицы парных корреляций, которая позволяет, кроме этого, идентифицировать мультикоррелирующие факторы [8].

Для более адекватной оценки значимости факторов, полученных по интеллектуальному методу анализа (ИМА) и корреляционному анализу (КА) были нормированы по максимальному значению, шкалированы по 100-бальной шкале. После этого была вычислена усредненная оценка значимости, которая приведена на рисунке 4.

Сек-1, Кл.-0.045	100		Общ.,Кл +15	16.21
Общ.,-10+5	43.68		Мелкое	13.52
Общ.,-5+0	39.76		Магнетит	13.31
Влага в кон-те	35.95		Кум/маг	10.82
Круп и с.з.	34.80		Био/маг	10.22
Общ.,D ср/в	32.08		С ш/п	7.42
Общ.,-15+10	28.72		С эгирин	6.41
Т/вкр	28.55		Влага в руде	6.19
Общ.,Кл+10	28.39		Биотит	5.67
Обог-ть	22.89		Хвосты, Fe mg	5.24
Окислен	22.37		Полуок	5.00
Сек-1, Fe общ.	20.90		С актинол	3.44
Жел.сл.	19.63		Дайка	0.88
Хвосты, Fe общ.	18.50			

Рисунок 4 – Усредненная оценка важности факторов по данным сводной БД

По данным полученной матрицы и усредненной оценки важности факторов наибольшее и достоверное влияние на результирующий фактор имеет предиктор «Кл-0.045»; все показатели крупности тесно коррелируют между собой, включая фактор «D с/в»; наибольшую значимость имеет фактор «Кл -10+5».

Таким образом целесообразно выбросить из последующего анализа факторы «Кл+15», «Кл-15+10», «Кл+10», «Кл-5+0» и «D с/в». Так же исключаются факторы, проанализированные по интеллектуальному методу анализа (ИМА) и корреляционному анализу (КА), не оказывающие на результат «С эгирин», «Дайка», «Биотит», «Влага в руде», «С ш/п», «С актинол», «Хв. Fe общ» и «Полуок». Факторы «Мелкое» и «Магнетит» функционально связаны, при этом значимость первого выше, поэтому исключаем «Магнетит». Факторы «Обогатимость», «Круп» и «Т/вкр» также тесно связаны между собой. С учетом того, что наиболее информативным для результирующего показателя является «Круп» – его оставляем, а факторы «Обогатимость» и «Т/вкр» исключаем.

Проведем верификацию качества построенной прогнозной модели искусственной нейронной сетью.

Для определения количества скрытых слоев в прикладном пакете MATLAB программным способом были сформированы искусственные нейронные сети с различным количеством скрытых слоев. Наилучший результат показала сеть с двадцатью скрытыми слоями при задании максимального количества циклов обучения, равного 500.

Сеть была обучена на массиве данных, содержащем 300 суточных наборов параметров, извлеченных из БД, в которой были оставлены шесть значимых факторов: «Общ.,-5+0»

«Хвосты, Fe общ.» «Сек-1, Кл.-0.045» «Окислен» «Мелкое» и «Круп с.з.» и значения фактической среднесуточной производительности.

Затем проводилась оценка точности прогнозирования на всем массиве данных, содержащем 416 суточных наборов указанных факторов.

При этом качество оптимальной прогнозной модели, построенной на ИНС следующее:

– среднее значение производительности 607,7, что практически совпадает с фактическим средним (609);

– максимальное абсолютное отклонение прогноза от фактического среднесуточного значения составило 88,2, что практически не отличается от значения этого показателя для конечной регрессионной модели (87,8).

Также практически совпали значения среднего отклонения за период: для ИНС-модели оно составило 21,4, для регрессионной – 21,35.

С целью визуализации полученных результатов построены графики среднесуточных и прогнозных значений производительности (рисунок 5).

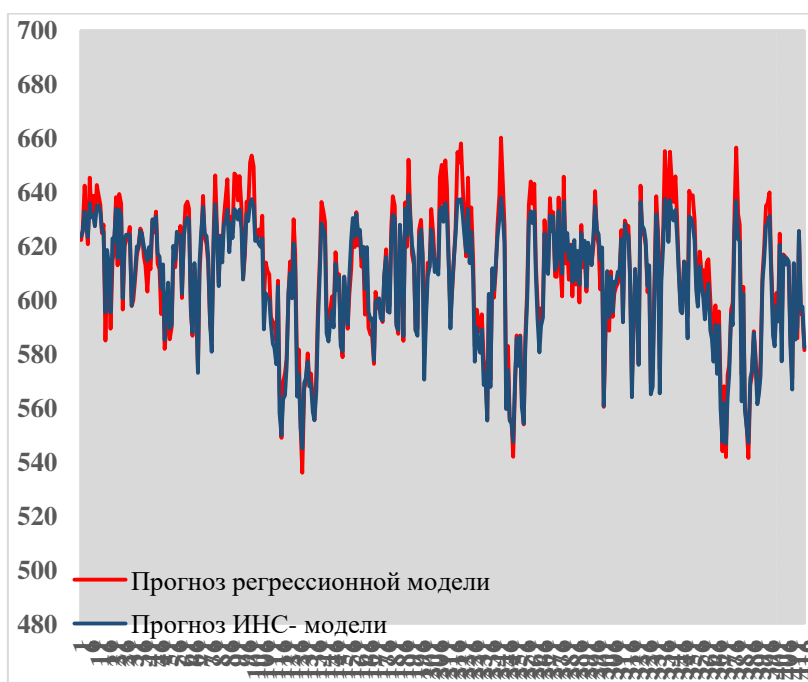


Рисунок 5 – Графики фактических среднесуточных значений производительности, полученных по регрессионной и ИНС- модели

На основании полученных данных качество ИНС-модели фактически совпадает с качеством регрессионной. Это подтверждает как оптимальный вид зависимости, использованный для построения регрессионной связи, так и правомерность выбора параметров «Общ.,-5+0» «Хвосты, Fe общ.» «Сек-1, Кл.-0.045» «Окислен» «Мелкое» и «Круп с.з.» в качестве значимых. Обе модели демонстрируют полностью совпадающую динамику изменения величины прогнозирования при соответствующих вариациях значений факторов, входящих в суточный набор данных. Точность прогноза выше в диапазоне $\pm 8\%$ от среднего фактического значения производительности за рассмотренный период (609 т/час) – т. е. при нахождении фактического значения в пределах от 560 до 650 т/ч. При выходе фактических значений за пределы этого диапазона точность предсказания снижается. Учитывая не высокое значение коэффициента детерминации (0,45) конечной модели очевидным, становится тот факт, что на вариацию результирующего признака большую роль играют какие-то неучтенные в модели факторы.

С целью повышения удобства проведения верификации получаемых результатов с помощью регрессионной модели создано независимое приложение, позволяющее проводить оценку

ожидаемой производительности моделью, построенной на базе искусственной нейронной сети, интерфейс которого приведен на рисунке 6.

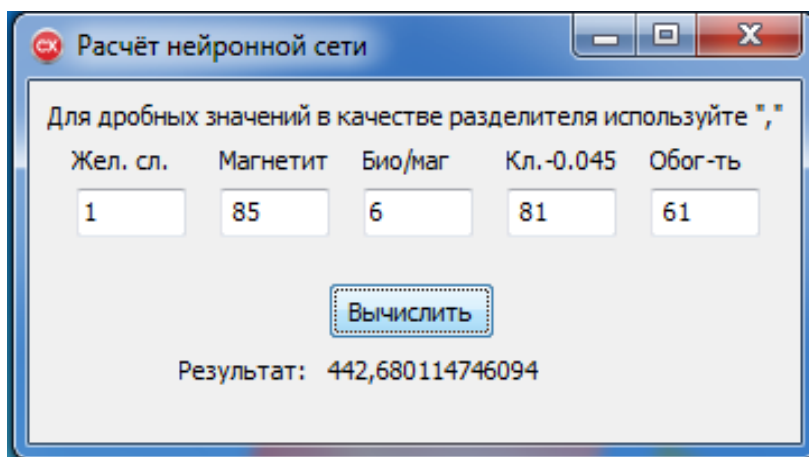


Рисунок 6 – Интерфейс независимого приложения для прогнозирования производительности мельниц с использованием ИНС- модели

В дальнейшем предложенную методику планируется применить для разработки системы прогнозирования производительности оборудования ОФ при ее переходе на руду с различным типом гранулометрического состава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материалы международной конференции и технического визита // «Горнорудная промышленность России и СНГ: Строительство и модернизация», Курск 2021 (Доступ <https://miningrussiaconference.com/>)
2. Авдохин, В.М. Основы обогащения полезных ископаемых // М.: Горная книга, 2010. – 417 с.
3. Моркун, В.С. Адаптивные системы оптимального управления технологическими процессами горно-обогатительными комбинатами // М.: Минерал, 2009. –261 с.
4. Остановский А.А., Маслов Е.В. К определению производительности и удельных энергозатрат в вертикальной мельнице динамического самоизмельчения с силовым замкнутым контуром// Технические науки. 2015. № 3– С. 59-67.
5. Таранов В.А. Оценка прочностных свойств руды как фактор повышения эффективности процесса измельчения// Научно-технический журнал Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ). №4 / 2015. С. 119-123.
6. Ivashchuk O.D ,Ivashchuk O.A., Fedorov V.I., Shtana A.I.Predicting the operational efficiency of high-pressure roller crushers// Russian Engineering Research. 2020. Т. 40. № 11. С. 970-972.
7. Иващук О.Д., Иващук О.А., Федоров В.И, Штана А. И Разработка моделей прогнозирования эффективности работы валковой дробилки высокого давления на основе регрессионного анализа// СТИН. – 2020.- № 6. С. 37-40.
8. Ivashchuk O.D ,Ivashchuk O.A., Fedorov V.I., Shtana A.I, Rodionov A.// Formation of a complex method for analyzing multidimensional production data of a processing plant// Economic Annals-XXI, 2021 194(11-12), 36-48.
9. Программная реализация метода деревьев решений для реализации задач классификации и прогнозирования // Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. – 2013. – № 8 (151), вып. 26/1. – С. 121–127.

Иващук Орест Дмитриевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
К.т.н., доцент, доцент кафедры прикладной математики и компьютерного моделирования
Тел.: +7(961) 176-91-93
E-mail: igrunova@bsu.edu.ru

Игрунова Светлана Васильевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
К.с.н., доцент, доцент кафедры информационных и робототехнических систем
Тел.: +7(910) 329-61-86
E-mail: igrunova@bsu.edu.ru

Нестерова Елена Викторовна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
К.э.н., доцент кафедры информационных и робототехнических систем
Тел.: +7(919) 223-57-13
E-mail: nesterova@bsu.edu.ru

Штана Альберт Игоревич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем
Тел.: +7(915) 572-52-23
E-mail: shtana@bsu.edu.ru

Дунаева Виктория Александровна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Студент бакалавриата кафедры информационных и робототехнических систем
Тел.: +7(920) 205-28-07
E-mail: dunaeva@bsu.edu.ru

УДК 330.15

О.А. ИВАЩУК, В. И. ФЕДОРОВ, Д.А. ИВАЩУК, Н.В. ФЕДОРОВА
O.A. IVASCHUK, V.I. FEDOROV, D.A. IVASCHUK, N.V. FEDOROVA**РАЗРАБОТКА МЕТОДА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ И ПРОЦЕССОВ
АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА****DEVELOPMENT OF A METHOD FOR INTEGRATED ECOLOGICAL
STATE OF OBJECTS AND PROCESSES OF AGRO-INDUSTRIAL
COMPLEX**

В данной статье авторы рассматривают разработку метода комплексной оценки экологического состояния объектов и процессов агропромышленного комплекса (АПК) базирующегося на применении аппарата нечеткой логики. Данный метод позволяет получать оценки текущего и прогнозного экологического состояния объектов и процессов АПК, учитывая их специфические особенности. Данные оценки могут быть использованы для формирования научно обоснованных сценариев управления в данной области.

Ключевые слова: интегральная оценка, агропромышленный комплекс, экологическая безопасность, нечеткая логика, лингвистические переменные.

In this article, the authors consider the development of a method for a comprehensive assessment of the ecological state of objects and processes of the agro-industrial complex (AIC) based on the use of a fuzzy logic apparatus. This method makes it possible to obtain assessments of the current and forecast ecological state of objects and processes in the agro-industrial complex, taking into account their specific features. These assessments can be used to form science-based management scenarios in this area.

Keywords: integral assessment, agro-industrial complex, environmental safety, fuzzy logic, linguistic variables.

Экологическое состояние современных объектов агропромышленного комплекса (АПК) напрямую связано с качеством окружающей природной среды, безопасностью продовольственно-го сырья и продуктов питания, уровнем негативного техногенного воздействия на человека, животный и растительный мир.

Осуществление научно обоснованных результативных решений в сфере экологизации сельскохозяйственного производства и развития соответствующих территорий на принципах биосферосовместимости должно базироваться на достоверной информации о текущей и прогнозной экологической ситуации, адекватном пространственно-временном анализе ее динамики в зависимости от изменения природных и техногенных факторов.

Для АПК – как межотраслевого комплекса с его характерными особенностями – это связано со сбором и обработкой значительных объемов множественных и разнородных данных, в том числе характеристик технологических процессов с участием живых организмов; одновременным учетом контролируемых параметров, отличающихся значительной распределенностью по большой площади и случайным характером их природы.

На сегодняшний день функционируют и предлагаются для внедрения различные отечественные и зарубежные системы экологического мониторинга с автоматизированным процессом регистрации экоданных, их передачи, обработки, хранения, анализа.

Однако вышеуказанные особенности АПК определяет актуальность создания и внедрения новой технологии интеллектуального распределенного экомониторинга состояния его объектов, процессов и территорий с возможностью комплексной оценки сложившейся экологической ситуации и формированием научно-обоснованных эффективных сценариев управления.

Одним из современных направлений цифровизации АПК является создание технологии интеллектуального распределенного мониторинга экологического состояния объектов и процессов АПК, использующей одновременно возможности нескольких цифровых технологий, с построени-

ем соответствующей киберфизической системы. На рисунке 1 представлена обобщенная структурная модель системы подобного класса, представленная в работе [1].

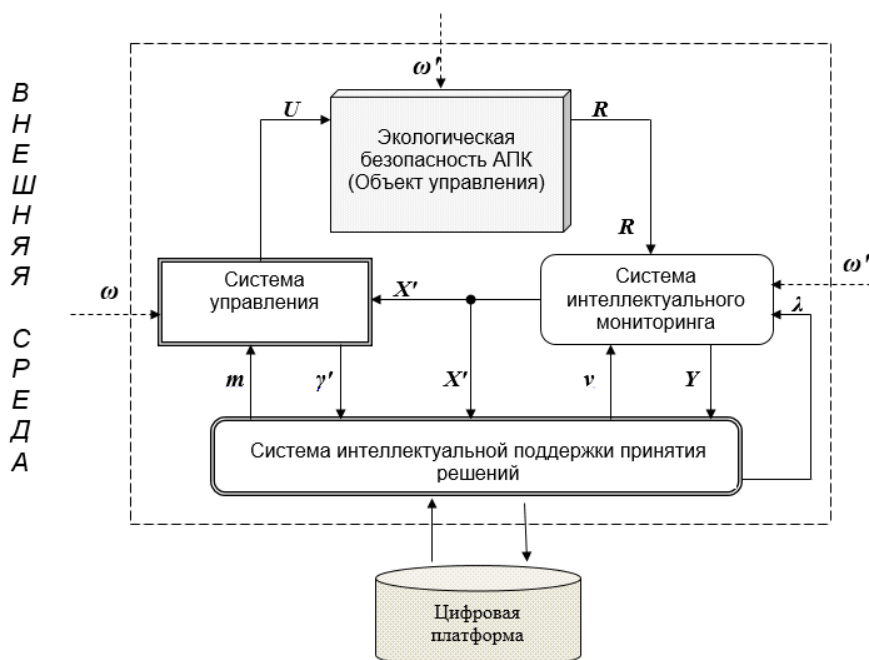


Рисунок 1 – Обобщенная структурная модель киберфизической системы мониторинга и управления экологическим состоянием объектов и процессов АПК

На схеме R – совокупность параметров, которые характеризуют эколого-экономическое состояние объектов и процессов АПК на рассматриваемой территории; Y – обработанные данные, поступающие из системы экомониторинга для оценок, прогнозов и формирования управленческих решений; X' – данные предварительной оценки; U – управляющие воздействия – изменение параметров конкретных объектов и процессов АПК; $\omega, \omega', \omega''$ – компоненты внешнего воздействия на подсистемы; m, v, λ – результаты моделирования для организации работы подсистем; γ' – вектор обратной связи – результаты выбранных для реализации управляющих воздействия

Подобная система будет учитывать все особенности современного АПК в динамике, результаты ее функционирования станут базисом для научно обоснованного управления сельскохозяйственным производством и развитием территорий на принципах биосферосовместимости, безопасности продовольственного сырья и продуктов питания.

Согласно требованиям и принципам функционирования подобных киберфизической системы авторами предложен метод комплексной адекватно оценки экологического объектов и процессов АПК.

Ключевым исследуемым состоянием в данном случае является экологическая ситуация на рассматриваемой территории, находящейся в зоне влияния конкретных исследуемых объектов и/или процессов АПК. Введём обозначение соответствующей лингвистической переменной – EL , которая (с учётом и развитием подхода, предложенного Д.А. Поспеловом [2,3]) может быть определена как комплексная пространственно-временная оценка (осуществляемая на базе анализа и обобщения) совокупности экологических характеристик компонентов природной среды и живых объектов сельскохозяйственного производства, их связей с параметрами АПК и внешней среды, которые формируют определённый уровень экологической безопасности, а также уровень влияния на продовольственную безопасность.

Информация, получаемая от датчиков, приборов и измерительных устройств, выражается точно, т.е. конкретными цифрами. Однако приборного обеспечения, позволяющего дать точную интегральную оценку экологической ситуации как результата воздействия совокупности объектов и процессов на различные компоненты природной среды, с учётом участия живых объектов, не существует. Такая оценка может быть осуществлена только качественно и выражена с использо-

ванием естественного языка и лингвистической переменной, принимающей значения в виде «благоприятная», «удовлетворительная», «конфликтная», «неудовлетворительная», «неблагоприятная» и др. При этом, подобная качественная оценка состояния экологической безопасности с использованием лингвистических значений основана на знаниях экспертов – специалистов предметной области и не требует технических измерительных устройств.

При комплексном подходе, на начальном этапе для оперативного принятия решений о необходимости регулирования технологических параметров бизнес-процессов АПК, определяющих возможную динамику экологической безопасности (с учётом влияния на продовольственную безопасность), лицу, принимающему решение (ЛПР), будет достаточно получить такую комплексную (интегральную) качественную оценку, как: Экологическая ситуация $EL =$ «неблагоприятная».

Такая ситуация есть причина немедленного реагирования. На данном уровне ЛПР не знает конкретную причину и точный уровень снижения качества компонентов природной среды, но получает информацию о том, что возникла необходимость реагирования и, возможно, необходимо формирование сценариев управления, при этом на основе реализации мероприятий различного уровня, включающих различные механизмы. Соответствующие мероприятия могут быть как оперативными, так и кратко-, средне- и долгосрочными.

Лингвистическая переменная EL может быть представлена таким образом

$$\{EL, T, Q, G, H\}, \quad (1)$$

где EL – введенное выше имя рассматриваемой переменной,

T – это основное терм-множество, которое задаёт множество основных значений лингвистической переменной EL для комплексной оценки текущего или прогнозного состояния экологической безопасности (с учётом влияния на продовольственную безопасность) в зоне техногенного воздействия объектов/процессов АПК (их совокупности).

Минимальная точность комплексной определяется двумя основными термами:

$$T_1 = \text{«благоприятная»}, T' = \text{«неблагоприятная»}.$$

Комплексная оценка $T_1 =$ «благоприятная» ставится в случае, когда качественное состояние всех рассматриваемых компонентов природной среды и одновременно состояние всех рассматриваемых живых объектов сельскохозяйственного производства на исследуемой территории полностью соответствующее требуемым критериям.

В зависимости от результата совокупного состояния каждой из выбранных для анализа компонентов природной среды и/или состояния живых объектов сельскохозяйственного производства на исследуемой территории проводится дифференциация комплексной оценки «неблагоприятная» (то есть повышается ее точность):

$$T = \{T_1, T'\} = \{T_1, T_2, T_3, T_4, T_5\}. \quad (2)$$

– $T_2 =$ «относительно неблагоприятная». Такое значение переменной EL присваивается в том случае, когда химическое или физическое загрязнение одной из компонентов природной среды, подвергающихся техногенному воздействию со стороны объектов/процессов АПК на рассматриваемой территории, превышает допустимый уровень, или состояния одного из видов живых объектов сельскохозяйственного производства вызывают опасения с точки зрения их влияния на экологическую/продовольственную безопасность, но зафиксированные негативные отклонения не являются устойчивыми (в пространстве и/или во времени);

– $T_3 =$ «опасная». Такое значение переменной EL присваивается в том случае, когда негативные отклонения характеристик качества и компонентов природной среды, и живых объектов, участвующих в производственных процессах, превышают допустимые значения, но без образования устойчивых экологически опасных зон и/или устойчивого негативного влияния на продовольственную безопасность; или когда подобные отклонения только для одной из рассматриваемых компонент превышает нормы, но это отклонение является значительными и способствуют образованию устойчивых экологически опасных зон / (устойчивое влияние на снижение качества и объёма продукции растениеводства и/или животноводства);

– $T_4 =$ «очень опасная». Такое значение переменной EL присваивается в том случае, когда негативные отклонения для всех характеристик качества компонентов природной среды и состояния живых объектов сельскохозяйственного производства на рассматриваемой территории пре-

вышают нормы, и при этом могут возникнуть устойчивые экологически опасные зоны/ (устойчивое влияние на снижение качества и объёма продукции растениеводства и/или животноводства) ;

– T_5 = «критическая», Такое значение переменной EL присваивается в том случае, когда негативные отклонения для всех характеристик качества компонентов природной среды значительно превышают нормы с образованием устойчивых экологически опасных зон химического и физического загрязнения/ (устойчивого влияние на снижение качества и объёма продукции растениеводства и/или животноводства) .

Для формирования выхода EL при развертывании определённой киберфизической системы на исследуемой территории, где функционируют/реализуются конкретные объекты/процессы АПК, необходимо сконструировать набор из N_{EL} логических правил. Для численной оценки рекомендуется использование баллов на основе актуализации алгоритма нечеткого вывода Сугено 0-го порядка. При этом экологическая ситуация характеризуется по условной 5-ти балльной шкале в соответствии с характеристикой термов их множества T .

Нечёткие переменные определяются на некотором числовом множестве Q (1). Это набор количественных характеристик - показателей состояния компонентов природной среды и живых объектов, которые используются при построении функций принадлежности (обозначим традиционно μ) и осуществления нечёткого вывода о принадлежности EL к значениям, входящим в T .

При построении функций принадлежности μ следует использовать обобщённые знания и опыт экспертов – специалистов в предметной области. На данной основе определяется вид и параметры соответствующих функций принадлежности.

G – множество синтаксических правил для образования новых значений EL , не входящих в основное терм-множество, например, «более-менее благоприятная», «очень неблагоприятная» и т.п.;

H – соответствующие математические правила, позволяющие преобразовать новое значение, образованное G , в нечёткую переменную, а именно, задать вид функции принадлежности; например, если μ_1 – функция принадлежности, используемая для характеристики экологической ситуации как «очень опасная», а μ_2 – «опасная», то функция принадлежности для характеристики «очень опасная или опасная» будет $\mu \vee \mu_2$, а для характеристики «не очень опасная» – $(1 - \mu_2)$ и т.д.).

В данной работе предлагается использовать следующий подход: комплексная оценка основывается на анализе двух основных подмножеств EL :

$$EL = \{E, L\}, \quad (3)$$

где E – комплексная оценка состояния компонентов природной среды;

L – комплексная оценка состояния компонентов живых объектов сельскохозяйственного производства, влияющих на формирование экологической и продовольственной безопасности.

В свою очередь E и L также являются составными переменными:

$$E = \{E_1, E_2, E_3, E_4\}, \quad (4)$$

где E_1 – комплексная оценка состояния атмосферы, E_2 – комплексная оценка состояния водных ресурсов, E_3 – комплексная оценка состояния почвы и E_4 – комплексная оценка состояния физического воздействия (шумовое, тепловое, радиационное и др.). Вводим комплексную оценку каждой компоненты по совокупному состоянию различных параметров, например, оценка состояния атмосферного воздуха проводим по совокупным влияниям различных загрязняющих веществ. Структура E_1 отражает особенности территории и исследуемого бизнес-процесса АПК:

$$L = \{L_1, L_2\} \quad (5)$$

где L_1 – комплексная оценка состояния растительных объектов, L_2 – комплексная оценка состояния животных объектов.

Схематично алгоритм данного метода представлен на рисунке 2.

На первом шаге предложенного алгоритма осуществляется выявление компонентов природной среды, которые подвергаются интенсивному негативному воздействию при функционировании исследуемого объекта/ процесса АПК. Происходит определение параметров экомониторинга. Для этого исследуются цифровые бизнес-модели, которые хранятся в специализированной базе Б1.

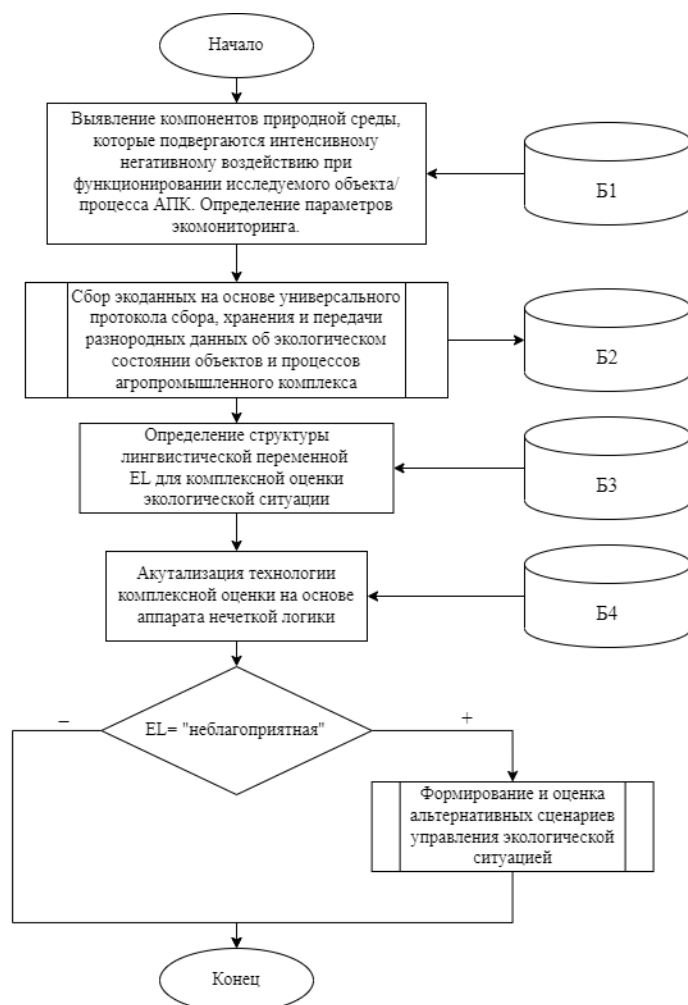


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма, реализующего метод комплексной адекватной оценки текущего и прогнозного экологического состояния объектов и процессов АПК

На втором шаге предложенного метода реализуется разработанный авторским коллективом метод сбора экоданных на основе универсального протокола сбора, хранения и передачи разнородных данных об экологическом состоянии объектов и процессов агропромышленного комплекса. Данный протокол позволяет собирать информацию с трех основных кластеров источников данных значимых для АПК: датчики и системы для непосредственной регистрации состояния природных и техногенных объектов; мобильные роботизированные устройства слежения (БПЛА, с/х роботы и др.); данные видеомониторинга для определения состояния живых объектов сельхозпроизводства [4]. Все полученные данные будут храниться в специализированной базе данных Б2 и будут использованы для построения различных видов моделей, прогнозов и формирования, и последующей оценки альтернативных сценариев управления. В том числе анализ этих данных позволит осуществлять комплексную оценку состояния экологической безопасности на рассматриваемой территории функционирования объекта/процесса АПК.

На третьем этапе предложенного алгоритма согласно проведенному анализу исследуемых бизнес-процессов АПК и выявленных компонентов, на которое оказывается негативное техногенное воздействие, и параметров экомониторинга, формируется структура лингвистической переменной *EL*. В указанном процессе актуализируется описанная выше цифровая платформа киберфизической системы мониторинга и управления экологическим состоянием объектов и процессов АПК. Все возможные множества для формирования структуры *EL*, ее основных компонентов *E* и *L* содержатся в специализированной базе Б3.

Следующий этап актуализирует предложенную технологию комплексной оценки на основе лингвистического подхода и аппарата нечеткой логики, а именно для каждой составляющей *EL* фор-

мируются соответствующие функции принадлежности и правила нечеткого вывода для формирования значений T . Процесс является иерархическим, то есть реализуется комплексная оценка каждой составной компоненты из множеств E и L , а далее формируется комплексная оценка результирующая EL .

Для проведения комплексной оценки на каждом шаге вышеуказанной иерархии необходимо располагать множеством математических, ситуационных и имитационных моделей для оценки и прогнозирования конкретного параметра состояния рассматриваемой компоненты природной среды и живого объекта сельскохозяйственного производства. Советующие модели, а также системы правил содержатся в базе Б4.

Если после актуализации технологии комплексной оценки мы получаем значение переменной $EL =$ «благоприятное», то ситуация не требует вмешательства и реализации каких-либо природоохранных мероприятий. В противном случае при получении оценки $EL =$ «неблагоприятная» необходима детализация этой оценки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иващук, О.А. Моделирование киберфизической системы интеллектуального мониторинга и управления экологической безопасностью АПК /Иващук О.А., Константинов И.С., Федоров В.И., Щербинина Н.В., Маслаков Ю.Н.//Научно-технический вестник Поволжья. 2021. № 11. С. 52-55.
2. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика, М.: Наука. -Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986, -288с.
3. Поспелов Д. А. Принципы ситуационного управления // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. — 1971. — № 2. — С. 10–17.
4. Бурлаков, Н.В. Подход к созданию универсальной системы сбора, хранения и передачи разнородных данных об экологическом состоянии объектов и процессов агропромышленного комплекса /Н.В. Бурлаков, О.А. Иващук, Е.С. Рудаков, В.И. Федоров, Е.В. Худякова, Н.В. Щербинина// Информационные системы и технологии. 2022. № 5 (133). С. 44-53.

Иващук Ольга Александровна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Д.т.н., профессор, заведующий кафедрой информационных и робототехнических систем
Тел.: (4722) 30-13-00 * 13-76
E-mail: ivaschuk_o@bsu.edu.ru

Федоров Вячеслав Игоревич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
К.т.н., доцент кафедры информационных и робототехнических систем
Тел.: (4722) 30-13-00 * 20-16
E-mail: fedorov_v@bsu.edu.ru

Иващук Дарья Александровна

РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева
Магистр кафедры прикладной информатики
Тел.: (4722) 30-13-00*20-16
E-mail: ivaschuk_v@bsu.edu.ru

Федорова Надежда Владимировна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Ассистент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий
Тел.: (4722) 30-13-00*21-74
E-mail: fedorova_n@bsu.edu.ru

УДК 004.89

А.С. САМУСЕНКО, Д.Г. ГОРДЕЕВ, А.В. ГРЕЧЕНЕВА
A.S. SAMUSENKO, D.G. GORDEEV, A.V. GRECHENEVA

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ АЭРОПОННОГО ВЫРАЩИВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

SOFTWARE DEVELOPMENT FOR AEROPON GROWING SYSTEM USING COMPUTER VISION

Статья посвящена созданию программного обеспечения системы выращивания сельскохозяйственной продукции с помощью аэропонной установки в рамках тепличного комплекса с использованием искусственного зрения. В ходе работы были выявлены и описаны основные образы и формы данных, которыми необходимо оперировать управляющей системе, для выполнения основного функционала. Был разработан алгоритм и создана блок-схема, описывающая взаимодействие нейронных сетей с модулем сбора информации, а также взаимодействия логических модулей с базами данных.

Ключевые слова: базы данных, программное обеспечение, логический модуль, нейронные сети.

The article is devoted to the creation of software for a system for growing agricultural products using an aeroponic installation within a greenhouse complex using artificial vision. In the course of the work, the main images and forms of data that the control system needs to operate in order to perform the main functionality were identified and described. An algorithm was developed and a block diagram was created that describes the interaction of neural networks with the information collection module, as well as the interaction of logical modules with databases.

Keywords: databases, software, logic module, neural networks.

Современные политические условия диктуют требования к необходимости развития и интенсификации сельскохозяйственного производства, направленной на повышение уровня продовольственной обеспеченности населения РФ [1,2].

Данная стратегия также справедлива и для ведения деятельности выращивания с-х. культур с помощью аэропонных установок. В настоящее время выращивание в закрытом грунте занимает ведущую позицию в общем объеме выращивания с-х. продукции в России, что говорит нам о необходимости внедрения новых технологий в способы выращивания с-х. культур в тепличных комплексах.

Качество будущего сырья и плодов зависит от квалифицированного протекания фаз роста растения, так как существуют болезни, поражающие растение только на определенной стадии. Были разработаны системы аэро- и гидропоники, применяющиеся и по сей день как садоводами-любителями, так и работниками крупных агрохолдингов. Главными минусами таких систем является высокая стоимость аппаратного комплекса, а также возникновение трудностей в обслуживании и отсутствие полной автоматизации во время выращивания сельскохозяйственной культуры.

В связи с приведенными выше проблемами можно смело выдвинуть решение: необходимо создать автоматизированную систему аэропонного выращивания на основе технологии искусственного интеллекта.

В свою очередь, актуальность сохраняет задача разработки методов и подходов контроля микроклимата тепличных комплексов. Основными задачами, выполняемыми системами является анализ данных, на основании полученных показаний от датчиков и систем визуального контроля состояния растений, а также экспертных знаний и стандартизированных показаний параметров микроклимата, необходимых для оптимального выращивания с-х. культур.

Целью работы является разработка MVP системы с датчиками и логическим модулем для обработки данных, полученных с датчиков и экспертных знаний из баз данных.

Архитектура базы данных программного обеспечение контроля микроклимата тепличного комплекса

Для разработки информационно-управляющего программного обеспечения тепличного комплекса требуется определения информативных параметров и диапазонов их вариаций в пределах нормы для поддержания оптимального уровня состояния микроклимата тепличного комплекса.

На основании анализа научной литературы был выделен основной ряд информативных параметров [13, 14]:

1. ЕС;
2. рН;
3. Температура;
4. Влажность;
5. Микро- макроэлементы: N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, B, Cu, Mo, Co, V, Se, Cl.

Контроль уровня рН и ЕС воды для выращивания с-х. культур является ключевым параметром, влияющим на рост и развитие и плодоношение с-х. культур.

Не менее важными показателями являются растворенные в воде макро- и микроэлементы, которые необходимы для роста растений. Недостаток или переизбыток элементов может привести к заболеванию растений или же к смерти с-х. культуры.

На основании вышеизложенного предлагается архитектура базы данных, которая позволит в реальном времени сохранять и получать актуальные данные для проведения математических расчетов, которые позволят вынести рекомендации по управлению тепличным комплексом (рисунок 1).

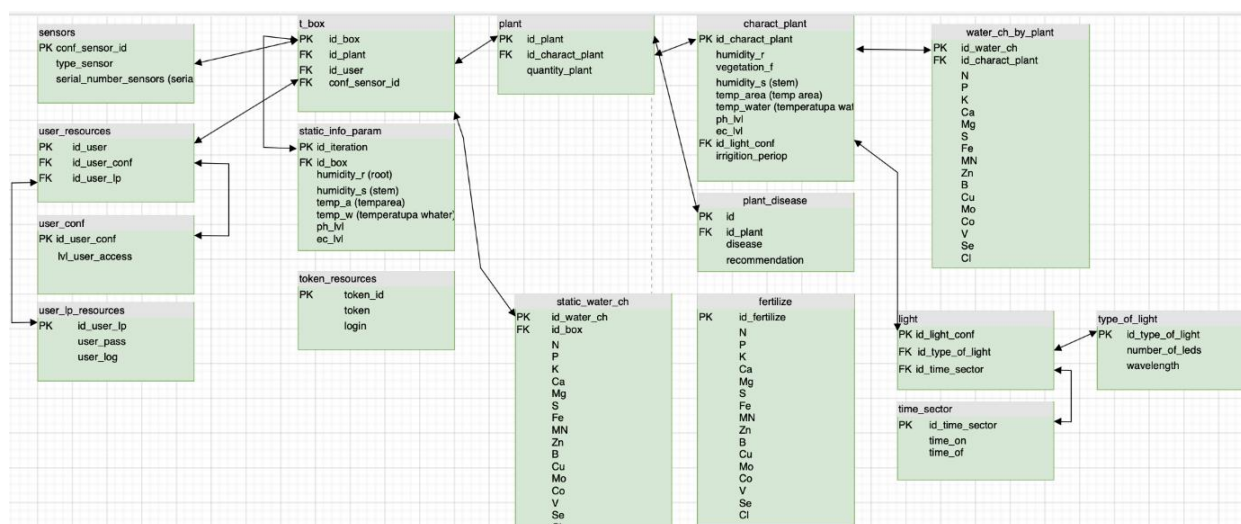


Рисунок 1 – Структурная схема базы данных

Структурная схема включает в себя таблицы, статистические и экспертные знания, необходимые для выполнения математических вычислений, необходимых для контроля микроклимата тепличного комплекса. Также схема содержит служебные таблицы, необходимые для конфигурирования доступов пользователей и конфигурации аэропонной системы под определенные датчики и растения, выращиваемые системой.

Для взаимодействия информационно-управляющей системы и базы данных необходимы запросы, которые будут предоставлять доступ к экспертным и статистическим данным (рисунок 2).

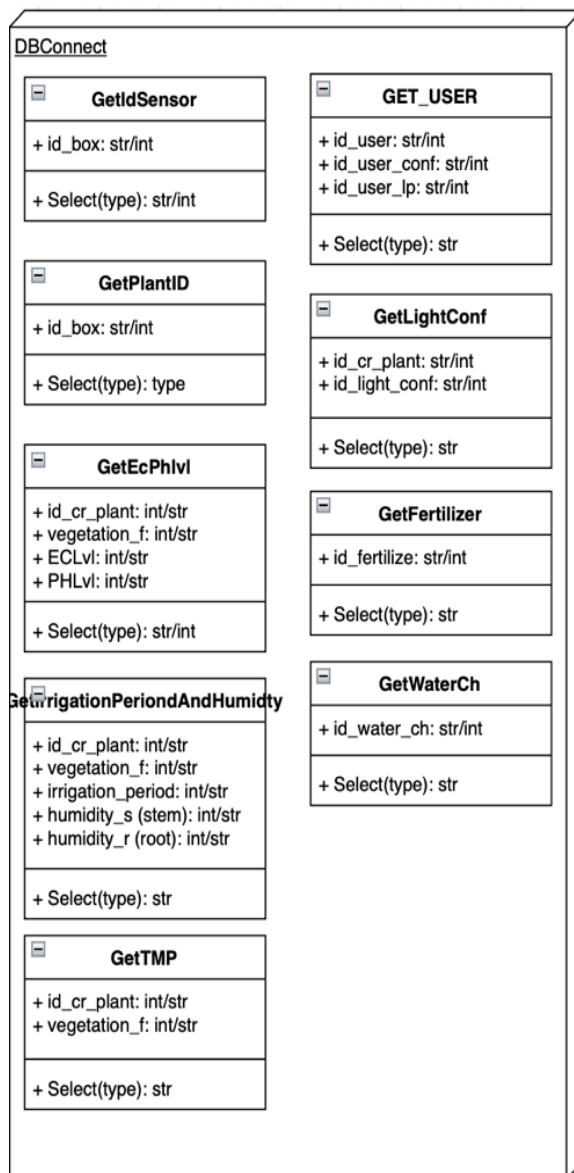


Рисунок 2 – Структурная схема запросов в базы данных

Архитектура модуля считывания информации с датчиков

Для получения актуальной информации о состоянии растений и микроклимата необходимо разработать модуль, который будет взаимодействовать с датчиками и стандартизировать значения.

Для того, чтобы система могла выполнять свои минимальные функции необходимы датчики:

1. Датчик pH;
2. Датчик ЕС;
3. Датчик уровня воды;
4. Термометр для воды ил воздуха;
5. Датчик влажности воздуха;
6. Камера.

Вышеприведённые датчики необходимо использовать в комплексе. Также датчики должны обладать определенной точность; от уровня точности зависит качество работы системы, а также и выдвинутые предложения по оптимизации микроклимата в тепличном комплексе.

Для получения данных была разработана блок-схема, содержащая в себе интерфейс, реализующий основные функции выполняющие считывания параметров с датчиков (рисунок 3).

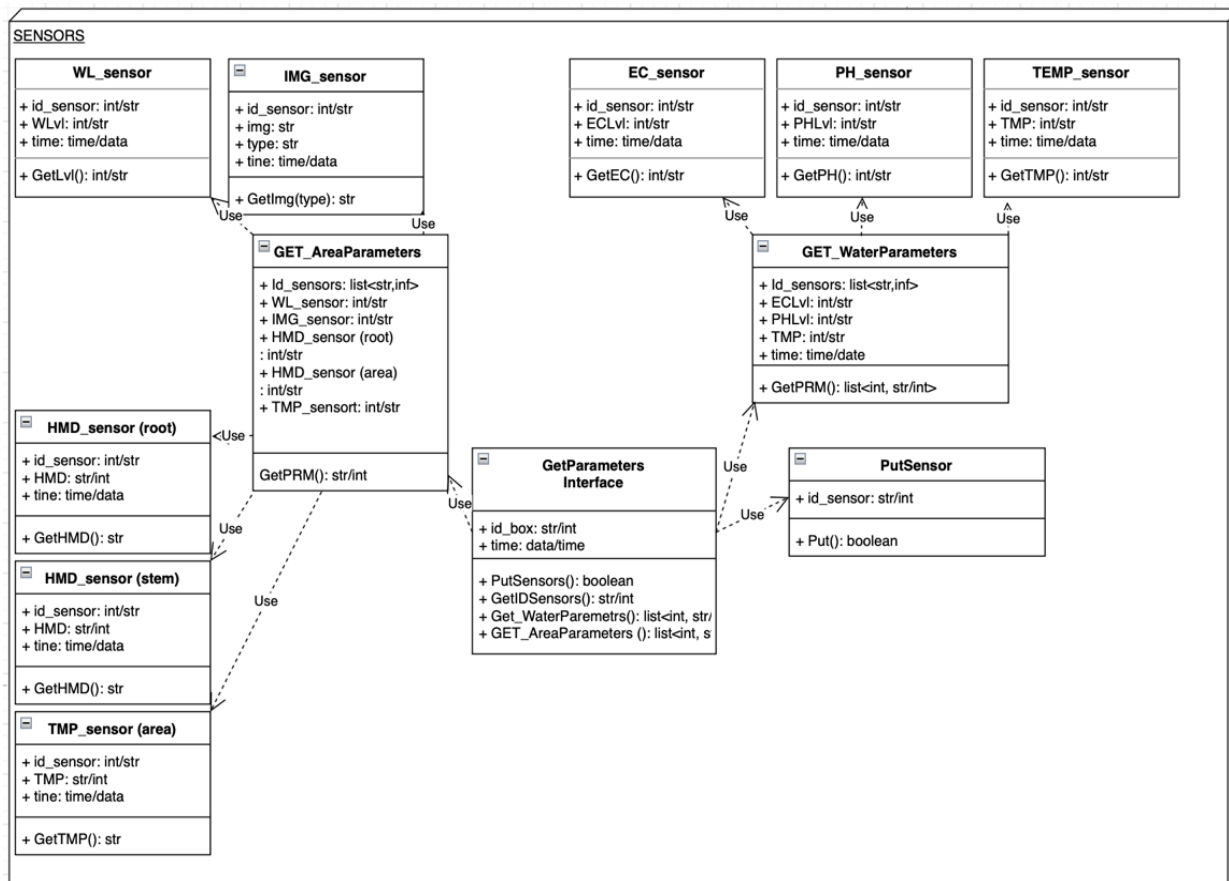


Рисунок 3 – Структурная схема модуля сбора информации

Структурная схема включает в себя основополагающие классы, необходимые для взаимодействия с датчиками, отвечающими за отдельные параметры микроклимата тепличного комплекса. Также на блок схеме отражены 2 служебных класса, реализующие основной функционал модуля и интерфейс, с которым будет взаимодействовать система для получения показаний с датчиков.

Архитектура модуля контроля информационно-управляющей системы

Основным модулем в информационно управляющей системе является модуль контроля системы. Модуль контроля представляет из себе сборный модель, который состоит из четырех основных модулей и основного реализующего интерфейса:

1. Модуль визуальной интерпретации;
2. Модуль аппаратного взаимодействия;
3. Модуль проверки качества воды;
4. Модуль контроля аппаратной части;

Модуль визуального интерпретирования отвечает за интерпретирование данных, полученных из модуля получения данных. Благодаря модулю визуального интерпретирования появляется возможность оценить состояние растений, заболевание растений, стадию вегетации и определить нехватку химических веществ.

Модуль аппаратного взаимодействия обеспечивает воплощение рекомендаций, предлагаемых системой, в реальность, обеспечивает включение или выключение регуляторов микроклимата тепличного комплекса.

Модуль проверки качества воды обеспечивает контроль химического состава воды, выдвигает предложения по конфигурации раствора с помощью удобрений.

Модуль контроля аппаратной части обеспечивает обработку данных, на основании которых выдвигаются рекомендации по изменению микроклимата тепличного комплекса.

Основная логика и алгоритмы модулей предоставлена на блок-схеме (рисунок 4).

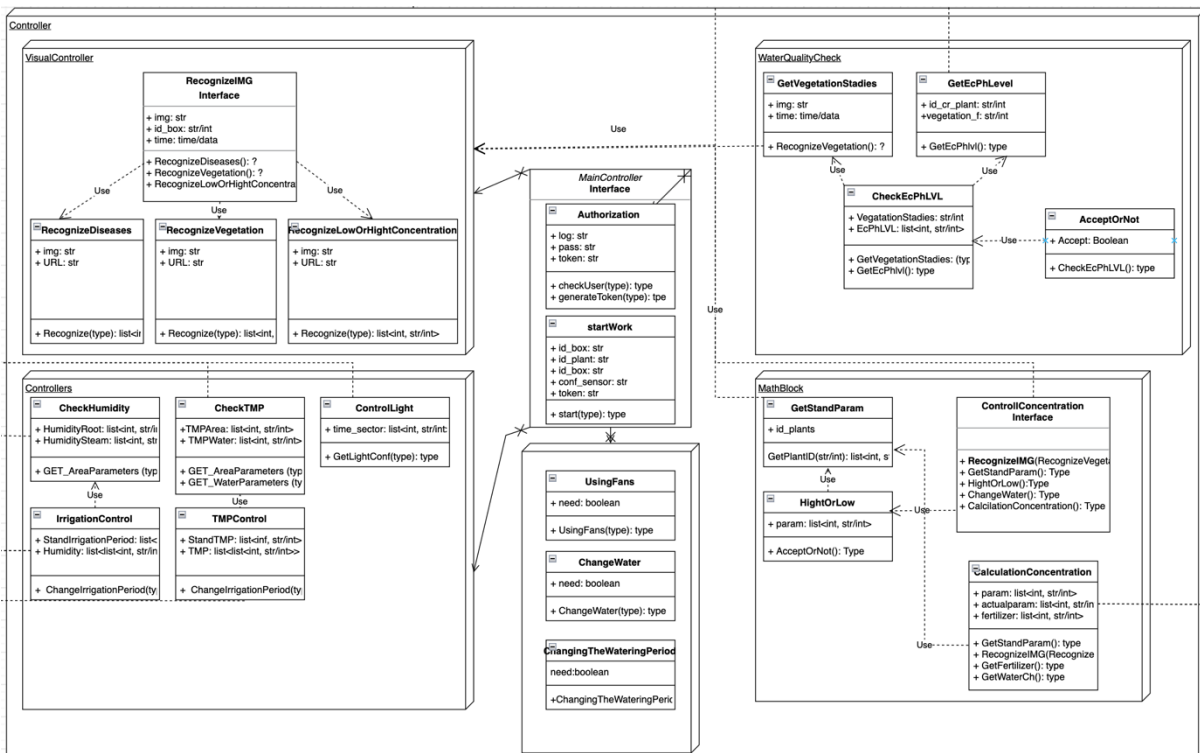


Рисунок 4 – Структурная схема модуля контроля

Благодаря модулю контроля выполняется инициализация пользователей, конфигурация системы для корректной работы.

Заключение

Предложенная в данной статье концепция информационно-управляющей системы аэропного выращивания позволит:

- увеличить уровень автоматизации выращивания с-х. культур с помощью аэропной установки;
- уменьшить затраты компании на оплату заработной платы персоналу.

Разработка и реализация системы с использованием искусственного интеллекта и искусственного зрения позволит достичь повышения уровня автоматизации производства, увеличить качество продукции и уменьшить возможные потери агрохолдингов в случае не корректного выполнения работы агрономами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клименко А. И., Усенко Л. Н., Холодова М.А. Прогнозирование продовольственной безопасности региона в контексте экономической доступности продуктов питания // Мелиорация и гидротехника. 2022. №1., с. 264-283
2. Филипповская О.В. Продовольственная безопасность России в свете происходящих геополитических изменений // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2016., №2 (335), с. 94-105.
3. Гарлов П. Е., Бугримов Б. С., Шведов В. П. Биотехника управления размножением рыб в условиях заводского воспроизводства. // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. 2011. №14 (2). С. 81-88.
4. С.В. Пономарев, Ю.В. Федоровых, О.А. Левина, Ю.М. Баканева, М.А. Корчунова, К.Г. Шейхгасанов Биологические и технологические аспекты применения методов органического

сельского хозяйства для получения продукции аквакультуры // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т.17, №4(3), 2015 – С. 557-567.

5. Ихтиология: краткий курс лекций для студентов II курса направления подготовки 35.03.08 Водные биоресурсы и аквакультура /Сост.: И.В. Поддубная// ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ». - Саратов, 2016, 219 с.

6. Егорова В. И., Свешникова Е. В., Наумова В. В., Кирьянов Д. А., Смирнова А. Н. Влияние температуры воды на структуру расхода обменной энергии у рыб // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2019. № 4. С. 110–115. DOI: 10.24143/2073-5529-2019-4-110-115.

7. В.К. Голованов Сравнительный анализ температурных критериев жизнедеятельности у видов-вселенцев и видов-аборигенов из региона верхней волги // Труды Мордовского государственного природного заповедника имени П. Г. Смидович. С. 289-296.

8. О.А. Белых, С.Е. Розанов Особенности выращивания живого корма *Artemia salina* в аквакультуре // Известия Байкальского государственного университета. 2021. Т. 31, № 3. С. 400–406.

9. Х.Г. Абдуллаева Влияние некоторых экологических факторов на возникновение и распространение болезней рыб // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14, № 5. С. 198-203.

10. Чебанов М.С. Руководство по разведению и выращиванию осетровых рыб / М.С. Чебанов, Е.В. Галич, Ю.Н. Чмырь - Москва 2004. – 148 с.

11. Шалдаев О.О., Лукичева С.В. (2017). Перспективы применения нечеткой логики. Актуальные проблемы авиации и космонавтики, 2 (13), с. 311-313.

12. Лабинский А.Ю., Нефедьев С.А., Бардулин Е.Н. (2019). Использование нечеткой логики и нейронных сетей в системах автоматического управления. Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России», (1), с. 44-50.

13. Электронный ресурс: «Диагностика проблем растений по внешнему виду» URL: <https://agrodom.com/advice/diagnostika-problem-rasteniy-po-vneshnemu-vidu/>

14. Болдырева, О. А. Влияние кислотности и электропроводности питательных растворов на усвоение макроэлементов для сортов огурца и томата / О. А. Болдырева // Державинский форум. – 2020. – Т. 4. – № 16. – С. 147-153.

Гордеев Денис Геннадьевич

ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва
Студент 4 курса кафедры прикладной информатики
E-mail: den.gord2010@mail.ru

Самусенко Александр Сергеевич

ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва
Студент 4 курса кафедры прикладной информатики
E-mail: samusenko.a2001@gmail.com

Греченева Анастасия Владимировна

ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва
К.т.н., доцент кафедры прикладной информатики
E-mail: A.Grecheneva@rgau-msha.ru

УДК 004.93.1

Д.С. ЯКИМАЙНЕН, Е.Б. КАРИКОВ, А.А. ШАМРАЕВ
D.S. YAKIMAINEN, E.V. KARIKOV, A.A. SHAMRAEV

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗРЕНИЕ В ЗАДАЧАХ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДСТВА КУРИЦЫ

TECHNICAL VISION IN THE TASKS OF QUALITY CONTROL OF CHICKEN PRODUCTION

В статье рассматривается проблема организации автоматизированного интеллектуального контроля качества куриной тушки на этапе переработки. Авторами предложен метод контроля качества с учетом потребительских свойств, основанный на использовании интеллектуального функционала технического зрения и решения задач детекции и сегментации дефектов производства мяса. Практическая реализация метода является перспективным новаторским решением и ориентирована на активное внедрение в интеллектуальных системах принятия решений предприятий пищевой промышленности.

Ключевые слова: техническое зрение, нейронная сеть, детекция, сегментация, контроль качества.

The article deals with the problem of the organization of automated intelligent quality control of chicken carcass at the stage of processing. The authors propose a method of quality control taking into account consumer properties, based on the use of intelligent functionality of technical vision and solving problems of detection and segmentation of defects in meat production. The practical implementation of the method is a promising innovative solution and is focused on active implementation in intelligent decision-making systems of food industry enterprises.

Keywords: technical vision, neural network, detection, segmentation, quality control.

В настоящее время объем автоматизированного производства мяса курицы в России достигает тысяч тонн, и по прогнозам [1,2] будет повышаться и далее. Увеличение производства имеет взаимную связь с необходимостью принятия мер по контролю за его качеством.

Качество мяса птицы нормируется в соответствии с ГОСТ [3]. По завершению послеубойной обработки тушки должны соответствовать следующим требованиям: хорошо обескровлены, чистые, без остатков пера, пуха, пеньков и волосовидных перьев, воска, царапин, разрывов, пятен, кровоподтёков, остатков кишечника и клоаки. Однако, на различных этапах обработки, куриная тушка может приобрести некондиционные признаки, как показано на рисунке 1.



Рисунок 1 – Некондиционные признаки

В соответствии с нормами контроля, на мясоперерабатывающих предприятиях организуются рабочие линии ручного разделения отбракованной курицы от удовлетворимой, поступающей для конечного потребителя по первой и второй категории мяса. Отбракованная курица является сырьем для производства полуфабрикатов. Эффективность ручного контроля в силу ограничений человеческого глаза и мозга ограничена скоростью 35 единиц проверяемых тушек курицы в секунду [4], что является низким показателем, особенно в перспективах модернизации и расширения производств. Интеллектуальная поддержка принятия решения, как правило, практически отсутствует из-за невозможности развертки лабораторного анализа в рабочей зоне.

Решением данной проблемы является либо расширение числа контрольных участков за счет набора дополнительного рабочего персонала по контролю тушек куриц, либо автоматизация данного процесса с использованием новейших технологий, таких как техническое (машинное) зрение.

Анализ существующих разработок показывает, что техническое зрение в основном построено на достаточно сложных системах с использованием модульных программно-аппаратных комплексов из датчиков и камер. Функциональная схема системы размещения оборудования системы контроля дефектов представлена на рисунке 2.

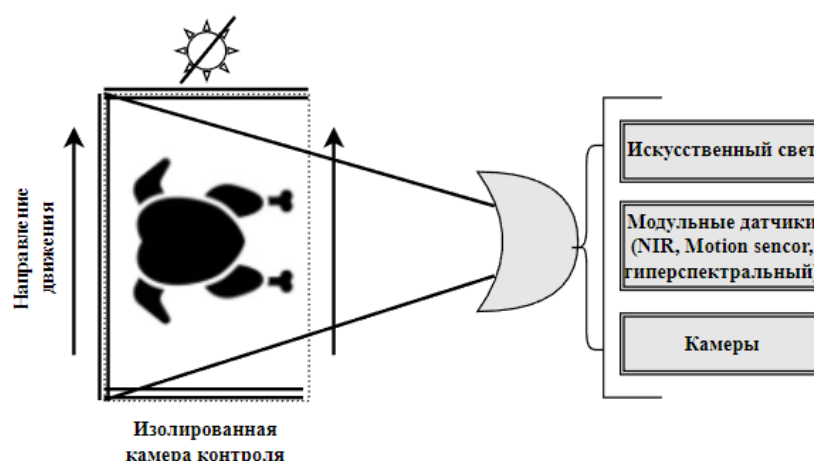


Рисунок 2 – Функциональная схема системы контроля дефектов

Как следует из модели, контроль дефектов происходит в изолированной области, защищенной от воздействия внешних световых источников и помех. Новая куриная тушка поступает в зону распознавания по окончании проверки следующей перед ней, потому особое внимание в качестве оценки эффективности должно быть уделено времени, затрачиваемому на обработку единичной курицы.

Обращаясь к ранее проведенным исследованиям по вопросу организации распознавания дефектов тушек куриц техническим зрением, можно отметить как ряд достоинств, так и проблемных недостатков.

В методе, представленном в [5] предлагается использование EMCCD-камеры, работающей по принципу снятия спектрографических характеристик изображения. В дальнейшем полученное изображение анализируется специальным алгоритмом, находящим проблемные участки. Заявленные по результатам исследования показатели в 140 проверенных птиц в минуту и 0.11% брака от общего числа тушек являются удовлетворимыми для специфического контроля. Минусами данного решения задачи для обнаружения дефектов является узкая специализация – решение рассчитано только на контроль скелетного каркаса птицы, и малая область проверки – дефекты можно детектировать только на одной курице в зоне проверки. Также на одну курицу затрачивается до 2.3 секунд, что не является оптимальным значением для высокоскоростных линий производства мяса птицы.

Метод распознавания на основе морфологической обработки изображения [6] использует алгоритм сегментации в цветовом пространстве HSV и LAB, после чего пороговой фильтрацией в рамках подобранных коэффициентов определяется степень повреждений и нарушений тканевой

структуры курицы. Авторами заявляется точность 87–93%, однако затрачиваемое время на обработку одной куриной тушки (порядка 6.14 сек), невозможность применения алгоритма для распознавания нарушений скелетной структуры делают его только для точечного распознавания. Осложняет применение алгоритма также тот факт, что коэффициенты морфологического процессинга подбираются зонально и сильно зависят от условий проведения детектинга.

Предложенное использование датчика движения, сравнение считываемых зон и получение контура куриных тушек [7] работает достаточно быстро для задач реального времени (от 200 до 900 мс на одну курицу), однако из-за особенностей работы алгоритма (построение контурного каркаса) работоспособно только для обнаружения скелетных дефектов, нарушений размеров и положений куриц (например, контроль удерживания за лапы).

Обзор представленных методологий показал несбалансированность решений в плане универсального использования для моментального обнаружения дефектов в комплексе – например, нарушений скелета одновременно с нарушениями поверхности курицы. К тому же обнаружение объектов осуществляется в узкой зоне контроля и в полной мере применяется только к одной единице тушки курицы за сеанс обработки. Данный фактор обосновывает необходимость использования технологий на базе искусственных нейронных сетей.

Для функционирования технического зрения в качестве аппаратной платформы авторами предлагается использовать линейную камеру, отличительной чертой которой является длинный и узкий сенсор, получающий изображение по частоте и накапливающий в буфер по мере движения объекта в считываемой области. При этом неподвижный задний фон будет являться четко отделимым, а движимая через область камеры будет зафиксирована максимально четким и статичным изображением.

Для решения задачи анализа дефектов предлагается использование искусственной нейронной сети (ИНС) архитектуры YOLOv8, которая является сверточной искусственной нейронной сетью. Такая ИНС обеспечивает высокую точность и скорость детектирования объектов на изображениях, ее выбор также обоснован требованием к работе в режиме реального времени – время обработки поступающего на распознавание изображения должно быть не более нескольких мс [8]. Результат применения нейросети для детектинга гематом и кожных повреждений показан на рисунке 3.



Рисунок 3 – Детекция поверхностных дефектов курицы

Для решения задачи обнаружения скелетных дефектов курицы предлагается использовать инстанс-сегментацию, обученную на несколько кластерных зон, характеризующих собой основные контролируемые участки тушки курицы. Для этого используется алгоритм сегментации на основе маскируемого анализа пространства и использования RCNN-сегментации, также реализуемой на фундаменте (сверточном слое Backbone) нейросети YOLO. Визуализация сегментации показана на рисунке 4.

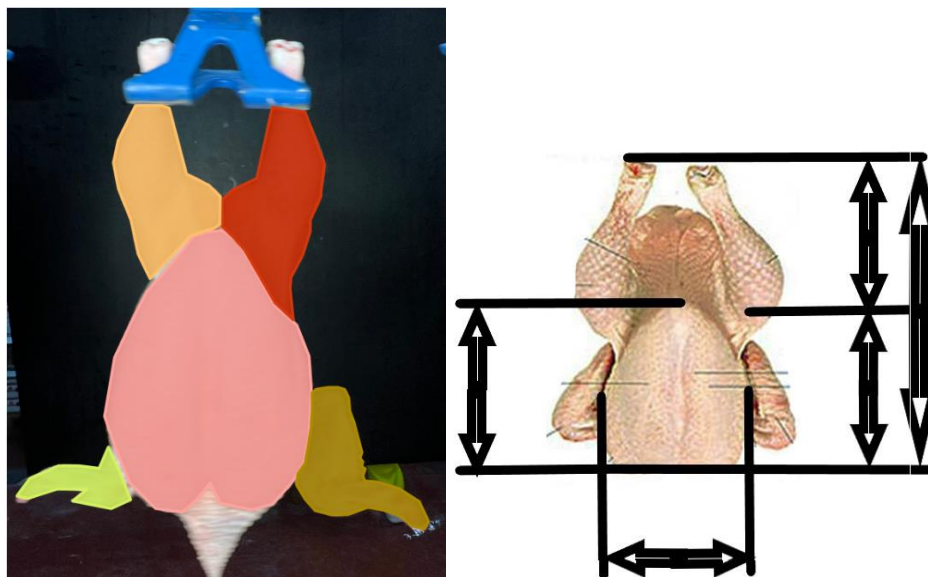


Рисунок 4 – Инстанс-сегментация скелетных зон курицы и контрольные замеры

По результатам сегментации возможно получить исчисляемые маски, которые в дальнейшем могут сравниваться системой контроля с эталонными размерными значениями – например, по объему грудной части, её ширине или длине. Также, применяя ранее упомянутый алгоритм детекции, возможно более детально определять повреждения, принимая к анализу не полное изображение, а выделенную полигональную область [9].

Разработанный интеллектуальный метод контроля качества в форме развертываемого программного обеспечения была протестирован на участке производства переработки тушек птицы. По результатам тестирования программного обеспечения определены временные значения распознавания дефектов курицы. Логирование показателей происходило после каждого обнаружения дефектов на тушке курицы (рис. 5).

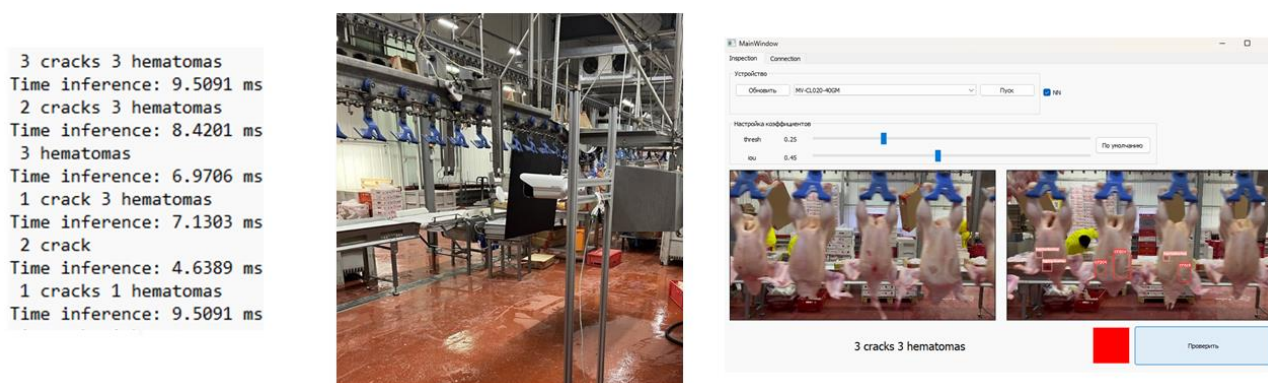


Рисунок 5 – Производственное тестирование и контрольные замеры

Как видно из представленных данных, затрачиваемое время обработки реализованного способа распознавания составляет 4-9,5 мс, что существенно ниже по сравнению с известными решениями [5-7]. При этом распознавание осуществляется сразу для нескольких тушек птицы. Таким образом, предложенное решение по контролю качества производства тушек птицы с применением технического зрения позволяет решать поставленные задачи на этапе переработки и имеет широкие перспективы по дальнейшему внедрению в технологические процессы.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта в форме субсидии из областного бюджета №16-С

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванченко А.В. Прогноз производства на рынке мяса птицы // Сервис в России и за рубежом. 2021. №2. (94). С 25-28.
2. Иващенинко Л.Н., Вологдин С.В. Разработка интеллектуальной системы идентификации сельскохозяйственных животных // Информационные технологии в науке, промышленности и образовании, Ижевск, 2022. С.87-93.
3. ГОСТ 31962-2013. Мясо кур (тушки кур, цыплят, цыплят-бройлеров и их части). Технические условия = Chicken meat (carcasses of chickens, broiler-chickens and their parts). Specifications : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 7 июня 2013 г. № 43 / разработан ГНУ ВНИИПЛ Россельхозакадемии, 12 с.
4. Yang C., Yang K. Machine vision system for online inspection of freshly slaughtered chickens. // Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety, 2009. №3.
5. Chen. Y, Wang S.C., Poultry carcass visceral contour recognition method using image processing // Journal of Applied Poultry Research, 2018, Vol. 27, I. 3, P. 316-324
6. Nyalala L., Okinda C., Makange N., Korohou T., Chao Q., Nyalala L., Jiayu Z., On-line weight estimation of broiler carcass and cuts by a computer vision system //Poultry Science, 2021, Vol. 100, I. 12, 101474, ISSN 0032-5791.
7. Pu H., Lian J., Fan M. Automatic Recognition of Flock Behavior of Chickens with Convolutional Neural Network and Kinect Sensor // International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, Vol.32, №. 07. P.323-327.
8. Horvat M., Jelečević L., Gledec G.. A comparative study of YOLOv8 models performance for image localization and classification // 33rd Central European Conference on Information and Intelligent Systems (CECIS), 2022, P. 349
9. Hafiz, A.M.; Bhat, G.M. A Survey on Instance Segmentation: State of the Art // International Journal of Multimedia Information Retrieval 9(7553). 2020, Vol. 9, P.171–189.

Якимайнен Дмитрий Сергеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Студент кафедры информационных и робототехнических систем
Тел.: +7-910-321-08-31
E-mail: 1248975@bsu.edu.ru

Кариков Евгений Борисович

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород
К.т.н., доцент, доцент кафедры технической кибернетики
Тел.: +7-960-624-8265
E-mail: evgenij-karikov@mail.ru

Шамраев Анатолий Анатольевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
К.т.н., доцент, доцент кафедры информационных и робототехнических систем
Тел.: +7-980-393-75-01
E-mail: shamraev@bsu.edu.ru

СЕКЦИЯ 3 «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ» SECTION 3 «INFORMATION TECHNOLOGIES IN INDUSTRY»

УДК 681.3.063

А.А. БАБЕНКО
A.A. BABENKO

МЕТОД МИКРОВОЛНОВОГО СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОГО СПЕКАНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КЕРАМИКИ

MICROWAVE ULTRAHIGH FREQUENCY SINTERING METHOD IN THE FORMATION OF CERAMICS

Процессы спекания можно описать на основе уравнений Максвелла, теплопереноса и термомеханики, решение которых позволяет найти ряд таких характеристик как: значения напряженности электрической и магнитной составляющей электромагнитного поля, распределения температур, концентрацию компонентов, давление и вектор перемещений, тензоры напряжений и деформаций.

В связи с этим с технологической точки зрения необходимо получение метода спекания керамических материалов до высокой плотности с высокой скоростью, что возможно в частотном диапазоне от 10 до 100 ГГц. Это обеспечивается за счет использования СВЧ излучения определенной интенсивности, при котором термоупругие напряжения существенно превосходят капиллярные, а также возникает дополнительная движущая сила, способная привести к ускорению уплотнения. В результате в керамическом материале происходит расплавление приграничных областей зерен при температурах существенно ниже температуры расплавления объемного монокристаллического материала, а время спекания не превышает нескольких минут.

Ключевые слова: спекание, сверхвысокочастотное спекание, высокочастотное спекание, керамика, частота, СВЧ нагрев, электромагнитное поле, теплопроводность.

Sintering processes can be described on the basis of Maxwell's equations, heat and mass transfer and thermomechanics, the solution of which allows us to find a number of characteristics such as: the values of the electric and magnetic components of the electromagnetic field, temperature distributions, component concentration, pressure and displacement vector, stress and strain tensors.

In this regard, from a technological point of view, it is necessary to obtain a method of sintering ceramic materials to high density at high speed, which is possible in the frequency range from 10 to 100 GHz. This is achieved through the use of microwave radiation of a certain intensity, in which thermoelastic stresses significantly exceed capillary stresses, and an additional driving force arises that can lead to an acceleration of compaction. As a result, the boundary regions of the grains melt in the ceramic material at temperatures significantly lower than the melting temperature of the bulk monocrystalline material, and the sintering time does not exceed several minutes.

Keywords: sintering, ultrahigh frequency sintering, high frequency sintering, ceramics, frequency, microwave heating, electromagnetic field, thermal conductivity.

Известно, что твердофазные реакции образования кристаллических фаз из оксидов с точки зрения термодинамики возможны при комнатной температуре: при этом такие реакции экзотермичны, а их тепловой эффект наиболее значим [4]. В этом случае электромагнитное поле высокочастотного (ВЧ) и сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона может быть использовано для создания теплового поля в диэлектрических материалах для ускорения процессов массопереноса и твердофазных реакций.

В настоящее время известно несколько подходов, позволяющих выявить закономерности при сверхвысокочастотном увеличении скорости твердофазных реакций, основанные на результатах анализа разнообразных химических реакций при СВЧ облучении [5].

Исследования данных подходов показали следующие результаты:

- нагрев твердых частиц СВЧ энергией приводит к выделению дефектов их поверхности, ускоряет движение ионов на более высокие энергетические уровни;
- увеличение скорости реакций наблюдалось при температурах, таких же как и при традиционном нагреве;
- под действием твердых катализаторов среднемассовая температура системы оставалась постоянной, а температура поверхности в области катализатора сильно увеличивалась, что существенно увеличивало скорость протекания реакции;
- кинетическая молекулярная релаксация энергии при воздействии СВЧ составляет примерно 10^{-5} с, т.е. энергия переносится с большей скоростью, чем скорость релаксации молекул, что приводит к неравновесным условиям и высоким мгновенным температурам, а, следовательно, и к увеличению скорости реакций и количеству ее продуктов.
- в присутствии СВЧ энергии твердофазные реакции могут протекать намного быстрее из-за мгновенного нагрева вещества до температур, больших среднемассовой;
- СВЧ нагрев способствует разрушению микроструктуры керамик, возникновению внутренних напряжений и, следовательно, чрезвычайно полезен в медленных реакциях, где требуется большая энергия активации;
- в процессе градиентного спекания керамик различного состава в печи сопротивления наблюдаются их структурные фазовые превращения;
- процессы спекания в порошковом материале ограничены распространением теплового фронта, определением температурного поля, рекристаллизацией материала в области спекания, его усадкой, вторичной рекристаллизацией (аномальный рост зерен при действии механизмов торможения) [5].

В общем случае процессы спекания можно описать на основе уравнений Максвелла, тепло-массопереноса и термомеханики, решение которых (при соответствующих краевых условиях) позволяет найти ряд характеристик: значения напряженности электрической и магнитной составляющей электромагнитного поля, распределения температур, концентрацию компонентов, давление и вектор перемещений, тензоры напряжений и деформаций.

В связи с этим с технологической точки зрения необходимо получение метода спекания керамических материалов до высокой плотности с высокой скоростью (единицы минут), что возможно в частотном диапазоне от 10 до 100 ГГц [1]. Однако при этом необходимо осуществление регулировки интенсивности СВЧ излучения с момента окончания выдержки таким образом, чтобы:

- удельная поглощенная мощность излучения в материале находилась в интервале $10 \div 200$ Вт/см³;
- скорость нагрева находилась в интервале $100 \div 5000$ °C/мин;
- продолжительность нагрева не превышала 5 минут.

Для осуществления такой регулировки необходимо использовать системы автоматического регулирования по температуре, при этом возможны различные варианты их реализации:

- нагрев может производиться при давлении в камере в интервале $10^{-6} \div 1$ атмосфер;
- спекаемое изделие необходимо формировать из порошков со средним размером зерна в интервале $20 \div 1000$ нм;
- относительную плотность спекаемого изделия необходимо выбирать в интервале $40 \div 80\%$ от теоретического значения.

Это обеспечивается за счет использования СВЧ излучения определенной интенсивности, при котором термоупругие напряжения существенно превосходят капиллярные, а также возникает дополнительная движущая сила, способная привести к ускорению уплотнения. В результате в керамическом материале происходит расплавление приграничных областей зерен при температурах существенно ниже температуры расплавления объемного монокристаллического материала, а время спекания не превышает нескольких минут [3].

Особенностью объемного поглощения СВЧ излучения является неоднородное распределение температуры с максимумом в объеме. Это объясняется потерями тепла с поверхности материала. Рассмотрим случай однородного нагрева теоретически бесконечно протяженной пластины толщиной D мощностью P , выделяемой в единице объема. При этом разность температур ΔT между центром пластины и ее поверхностью определяется формулой 1.

$$\Delta T = P D^2 / 8k, \quad (1)$$

где k – коэффициент теплопроводности материала пластины.

Сжимающее напряжение σ , возникающее в неоднородно нагретой пластине, определяется по формуле 2.

$$\sigma = \alpha E \Delta T / (1 - \nu), \quad (2)$$

где α – коэффициент линейного расширения материала, E – модуль упругости, ν – коэффициент Пуассона.

Установлено, что типичные значения перепада температуры по образцу ΔT при СВЧ нагреве пластины толщиной 1 см могут составлять $100 \div 150^\circ\text{C}$, а величина напряжения в порошковом компакте – $20 \div 30$ МПа. Данное значение давления более чем на порядок превышает капиллярное давление.

Поликристаллические материалы в отличие от монокристаллических обладают большими диэлектрическими потерями, связанными с наличием примесей и несовершенствами кристаллической структуры границ их зерен. Так границы зерен порошкового материала обладают повышенным содержанием микроструктурных дефектов и повышенной концентрацией примесей [2].

К числу дефектов относятся как точечные дефекты (вакансий), так и линейные дефекты (дислокаций). Наличие примесей и нарушений кристаллической структуры границ зерен приводят к снижению температуры плавления приграничной области зерна (в сравнении с температурой плавления идеального монокристалла). Данный фактор наряду с поглощением СВЧ энергии в границах зерен приводит к расплавлению периферии зерен и образованию жидкой межзеренной фазы. Особенностью данной фазы является скорость диффузионного массопереноса, которая на 5-6 порядков превосходит скорости диффузии в твердом теле. При этом электропроводимость расплавленной периферии зерен на много порядков превосходит электропроводимость монокристалла, в связи с чем преимущественно в ней происходит поглощение СВЧ энергии. В данном случае спекаемая среда материала представляет собой совокупность твердых поликристаллических зерен, приграничные области которых хотя бы частично перешли в предрасплавленное или расплавленное состояние [6].

Тогда резкое уплотнение материала (в случае, когда удельная поглощаемая мощность P и перепад температур ΔT достаточно велики, а соответствующее им напряжение σ достигает достаточно больших значений) происходит резкое уплотнение материала. Это является возможным за счет:

- течения жидкой фазы под действием напряжений;
- заполнения жидкой фазой пор;
- пластической деформации зерен, приповерхностные области которых имеют низкую вязкость.

В результате при поглощенной удельной мощности (порядка 10 Вт/см^3) в материале возникает повышенное напряжение, которое приводит к твердофазному спеканию. При контроле основных параметров данного процесса (удельной мощности и других) средняя температура спекаемого материала по объему оказывается ниже температуры плавления. В этом случае материал остается в поликристаллическом состоянии.

Между удельной поглощенной мощностью и скоростью нагрева изделия существует прямая зависимость на основе уравнения баланса энергии [2]. В предположении, что СВЧ излучение поглощается в объеме, формула 3:

$$P = C\rho \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right) + P_h, \quad (3)$$

где P – удельная поглощенная мощность, C – удельная теплоемкость материала, ρ – плотность материала изделия, P_h – удельная мощность тепловых потерь.

Зависимость удельной мощности тепловых потерь от скоростью охлаждения по окончании процесса нагрева и отключения источника СВЧ энергии может быть описана формулой 4.

$$P_h = C\rho \operatorname{mod} \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right). \quad (4)$$

Используя данные уравнения и информацию о скоростях нагрева и охлаждения до и после отключения источника СВЧ излучения, можно оценивать значения удельной поглощенной мощности в процессе спекания.

В частности, из данных уравнений можно сделать вывод, что для обеспечения высоких значений удельной поглощенной мощности эффективнее использовать СВЧ излучение более высоких частот. Это объясняется тем, что величина удельной поглощенной мощности является пропорциональной частоте излучения. Причем использование многочастотных установок с динамическим выбором частоты позволяет управлять процессами спекания и управлять свойствами получаемых керамических материалов для применения в термоэлектрических системах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аненков Ю.М., Ивашутенко А.С. Физическая модель спекания и модифицирования керамики в высокочастотных и сверхвысокочастотных полях. Изв. ТПУ. 2005. Т. 308. № 7. С. 30–35.
2. Архангельский Ю. С., Тригорлый С. В., Грушина Л. В. Численное исследование процессов тепломассообмена в объектах при нагреве в поле СВЧ // Изв. вузов СНГ. Энергетика. 1997. N-3/4. С. 66–71.
3. Быков Ю.В., Рыбаков К.И., Семенов В.Е. Микроволновая высокотемпературная обработка материалов // Вакуумная СВЧ электроника: сборник обзоров. 2002. С.26–33.
4. Матренин С.В., Слосман А.И. Техническая керамика: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004.–75 с.
5. Кожевников В.Ю. Спекание керамических материалов в сверхвысокочастотном электромагнитном поле с переизлучением / В.Ю. Кожевников // Электро- и теплотехнологические процессы и установки: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2003.
6. Кожевников В.Ю. Математическое моделирование спекания керамических материалов в СВЧ магнитном поле // Вестник СГТУ. 2006. № 4 (19). С. 109-117.

Бабенко Александр Андреевич

Белгородский государственный университет, г. Белгород
аспирант кафедры «Математического и программного обеспечения информационных систем»
Тел.: +7-904-082-19-41
E-mail: babencko.alexander2011@yandex.ru

УДК 51-72, 519.63, 552.08, 552.1

С.О. БАРКОВ, В.В. ХИМУЛЯ
S.O. BARKOV, V.V. KHMULIA

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД В СРЕДЕ GEODICT ПО ДАННЫМ РЕНТГЕНОВСКОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

APPLICATION OF NUMBER MODELING METHODS TO STUDY THE FILTRATION PROPERTIES OF ROCKS IN THE GEODICT FRAMEWORK BASED ON X-RAY COMPUTED TOMOGRAPHY DATA

В работе представлено описание и сравнение основных методов прямого численного моделирования, применяемых в ПО Geodict Math2Market GmbH для моделирования однофазного и двухфазного потока фильтрации на трехмерных цифровых структурах горных пород, полученных на основе данных рентгеновской компьютерной томографии. Указаны основные преимущества и недостатки существующих подходов. Подробно разобраны основные принципы метода морфологии пор, применяемого для определения относительной проницаемости пород.

Ключевые слова: рентгеновская томография, внутренняя структура пород, фильтрационные свойства, численное моделирование, метод морфологии пор.

The paper presents a description and comparison of the main methods of direct numerical simulation used in Geodict Math2Market GmbH software for modeling single- and two-phase filtration flow on three-dimensional digital rock structures obtained on the basis of X-ray computed tomography data. The main advantages and disadvantages of the existing approaches are indicated. The basic principles of the pore morphology method used to determine the relative permeability of rocks are discussed in detail.

Keywords: X-ray tomography, internal structure of rocks, filtration properties, numerical simulation, pore morphology method.

На сегодняшний день в условиях увеличения доли разработки трудноизвлекаемых запасов нефти и газа требуются более совершенные подходы к изучению свойств пород-коллекторов, повышающие точность оценки их фильтрационно-емкостных свойств. Одним из сравнительно новых для нефтяной отрасли методов, дополняющих и расширяющих возможности традиционных, является рентгеновская компьютерная томография (РКТ). Технология трехмерного моделирования внутренней структуры горных пород на основе данных РКТ позволяет существенно сократить время их исследования и проводить измерения ряда характеристик, которые ранее были недоступны. Например, качественные и количественные параметры проницаемости образцов независимо от правильности или искаженности их форм. Методы трехмерной визуализации, такие как РКТ высокого разрешения или сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) с фокусированным ионным пучком (ФИП), позволяют глубоко изучать трехмерную структуру любых пористых материалов, выявлять внутренние нетипичные зоны и неоднородности. Для нефтяной промышленности использование методов РКТ открывает новые возможности в прогнозировании притоков флюида к скважине, где определение проницаемости горной породы является ключевым параметром. К тому же определение физических-механических свойств горных пород с помощью численного моделирования на трехмерных структурах пород зачастую является экономически более выгодным по сравнению с традиционными лабораторными экспериментами. Следует отметить, что наибольшую ценность представляют исследования горных пород, совмещающие как классические лабораторные эксперименты, так и применение методов трехмерной визуализации.

В лаборатории геомеханики Института проблем механики РАН проводятся исследования внутренней структуры пород-коллекторов нефтегазовых месторождений при помощи высокоразрешающего рентгеновского микротомографа Procon X-Ray CT-MINI [1]. Для обработки массива

данных получаемого в результате сканирования каждого образца применяется современное специализированное ПО Geodict Math2Market GmbH. В данной среде помимо определения физико-механических свойств пород на трехмерных цифровых структурах возможно моделирование и визуализация фильтрационных процессов. В данной работе проводится описание и сравнение основных методов прямого численного моделирования, применяемых в ПО Geodict Math2Market GmbH для моделирования однофазного и двухфазного потока фильтрации на трехмерных цифровых структурах горных пород, полученных на основе данных рентгеновской компьютерной томографии.

Одним из первых шагов в рабочем процессе моделирования является получение, обработка и сегментация изображений для создания цифровой модели породы [2]. Эти шаги имеют решающее значение и должны быть выполнены очень тщательно. Получаемые в результате сканирования наборы трехмерных данных достаточно велики и часто могут превышать 8 миллиардов объемных элементов, называемых вокселями. Классические методы конечных элементов (МКЭ) или методы конечных объемов (МКО) не подходят для расчета физических свойств на таких больших изображениях. Слабым местом этих методов является генерация сетки, которая должна быть выполнена еще до начала моделирования и может занять больше времени, чем непосредственно решение дискретизированных дифференциальных уравнений (ДДУ). При этом во многих случаях специалисты по моделированию должны вручную корректировать сгенерированные сетки, чтобы убедиться, что моделирование сходится правильно и обеспечивает требуемую точность.

Для моделирования потока фильтрации многие исследователи используют метод решетчатых уравнений Больцмана (lattice Boltzmann method, далее LBM), которые не требуют генерации сетки [3]. В LBM под решеткой (lattice) понимается набор разрешенных векторов скорости, одинаковый для каждого пространственного узла. Это согласуется со стандартным математическим определением о решетке как о структуре, с помощью которой путем параллельных переносов можно получить всю пространственную сетку. В LBM любая решетка должна содержать нулевой вектор из узла в себя самого — он описывает частицы, которые никуда не летят из данного узла. В LBM решетки обычно обозначаются аббревиатурой D_nQ_m , где n — размерность пространства, m — число векторов в решетке. Примеры сеток $D2Q9$, $D3Q27$ приведены на рисунке 1 [4].

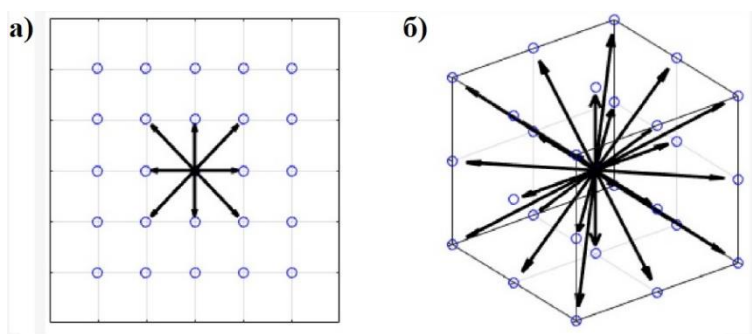


Рисунок 1 – Примеры сеток, используемых в решетчатом методе Больцмана (LBM): а) $D2Q9$, б) $D3Q27$ [4]

Для расчета кондуктивных/диффузионных и физико-механических свойств, большое пространство получили методы, использующие быстрое преобразование Фурье (БПФ) [5]. Как и LBM, так и методы на основе БПФ работают непосредственно на воксельной структуре без какого-либо предварительного формирования сетки. Главным недостатком применения LBM на трехмерных структурах является большая ресурсоемкость из-за решеток $D3Qm$. В связи с этим в ПО Geodict Math2Market GmbH в последние несколько лет активное развитие получили именно МКО и методы, основанные на БПФ, которые могут быть дискретизованы таким образом, чтобы работать на воксельной структуре только на исходных переменных ДДУ. Таким образом, они требуют меньше памяти, чем LBM. Для решения дискретизированных однофазных уравнений (Навье-Стокса-(Бринкмана) применяются методы EJ (Explicit Jump) [6], SIMPLE-FFT [7] и LIR [8], которые на этапе постпроцессинга позволяют определить абсолютную проницаемость пористых сред.

Однако во многих прикладных областях исследователей интересуют свойства, зависящие от насыщенности, такие как относительная проницаемость. Для получения относительной проницаемости необходимо решить уравнения двухфазного потока вместо уравнений однофазного потока. В таких режимах течения капиллярные силы, вызванные поверхностным натяжением и капиллярным давлением, часто являются доминирующими по сравнению с вязкими силами. Решение уравнений двухфазного потока является очень сложной задачей и требует много времени. Geodict предлагает альтернативный подход - метод морфологии пор [9], также известный как метод максимальных вписанных сфер [10]. Данный метод позволяет предсказывать распределение смачивающей фазы (СФ) и несмачивающей фазы (НСФ) внутри пористой среды. Метод распределяет две жидкости с помощью морфологических операций, а не решения дифференциальных уравнений.

Существует два возможных сценария:

- Вытеснение – СФ вытекает из структуры и вытесняется НСФ;
- Впитывание – СФ впитывается в структуру и вытесняет НСФ.

Вытеснение можно представить, как проталкивание сфер в структуру порового пространства, в котором размер пор превышает определенный радиус. Радиус уменьшается в итерационном процессе, что соответствует увеличению капиллярного давления. Суперпозиция всех сфер представляет собой НСФ. Метод морфологии пор достигает такого размещения сфер за счет процессов расширения и эрозии твердой фазы с поровым пространством. Дополнительные проверки связности [11] в отношении коллекторов НСФ и СФ могут быть использованы для повышения достоверности распределений. Эти проверки связности позволяют алгоритму вводить остаточные фазы, когда части НСФ оказываются в ловушке и не могут покинуть моделируемую область. Выходом алгоритма является конечная последовательность квазистационарных состояний. Каждое состояние представляет собой трехмерное изображение, которое кодирует твердую фазу, СФ и НСФ. В качестве постобработки, уравнение Юнга-Лапласа, основанное на радиусах вписанных сфер и межфазного поверхностного натяжения, предсказывает капиллярное давление:

$$p_c = 2(\sigma/r) \cos \alpha ,$$

где p_c – капиллярное давление, σ – поверхностное натяжение, r – радиус пор, α – угол контакта.

Метод был расширен Шульцем и др. [12] для обработки нескольких контактных углов в пределах одной структуры. Этого можно достичь, используя разные радиусы для процесса расширения, но один радиус для процесса эрозии. Также можно моделировать гистерезисные процессы, когда вытеснение и впитывание происходят последовательно. Наибольшее капиллярное давление, которое может быть смоделировано, зависит от длины вокселя структуры. Одним из ограничений этих методов в настоящее время является невозможность моделирования смешанной смачиваемости. Смешанная смачиваемость означает, что жидкость смачивает один материал и не смачивает другой материал в пределах одной и той же моделируемой области.

Расчет относительной проницаемости производится с помощью последовательности квазистационарных состояний. Для относительной проницаемости СФ, например, решается однофазный поток внутри СФ, а граница раздела между СФ и НСФ считается неподвижной.

Подводя итог следует отметить, что свойства пород, вычисленные различными решателями в Geodict, могут отличаться до 50% в зависимости от дискретизации и граничных условий [13]. Решатели потоков EJ, SIMPLE-FFT и LIR показали очень хорошую производительность в сравнительном исследовании с другими решателями [14]. Адаптивная сетка решателя LIR позволяет прогнозировать проницаемость на очень больших моделях горных пород с более чем 5 миллиардами вокселей [15]. Вычисленные кривые капиллярного давления по методу морфологии пор и вычисленные относительные проницаемости согласуются с результатами лабораторных измерений [16].

Работа выполнена в рамках государственного задания, регистрационный номер темы 123021700046-4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Химуля В.В., Барков С.О. Анализ изменения внутренней структуры низкопроницаемых пород-коллекторов средствами компьютерной томографии при реализации метода направленной разгрузки пласта // *Актуальные проблемы нефти и газа*. – 2022. – №. 4 (39). – С. 27-42.
2. Andrä H. et al. Digital rock physics benchmarks Part I: Imaging and segmentation // *Computers and Geosciences*. – 2013. – Vol. 43. – P. 25-32.
3. Steiner K. and Ginzburg I. Lattice Boltzmann model for free-surface flow and its application to filling process in casting // *Journal of computational physics*. – 2003. – Vol. 185. – P. 61-99.
4. Vocanegra Cifuentes J.A., Borelli D., Cammi A., Lomonaco G., Misale M. Lattice Boltzmann Method Applied to Nuclear Reactors // *A Systematic Literature Review. Sustainability* 2020. – Vol. 12. – 7835. <https://doi.org/10.3390/su12187835>
5. Moulinec H., Suquet P. A FFT-Based Numerical Method for Computing the Mechanical Properties of Composites from Images of their Microstructures // *IUTAM Symposium on Microstructure-Property Interactions in Composite Materials*. – 1995. – Vol. 37. – P. 235-246.
6. Wiegmann A., Bube K.P. The Explicit-Jump immersed interface method: Finite difference methods for PDEs with piecewise smooth solutions // *SIAM J. Numer. Anal.* – 2000. – Vol. 37., I.3. – P. 827-862.
7. Patankar S.V. Numerical heat transfer and fluid flow // Taylor & Francis. – 1980. – P. 126-134.
8. Linden S. et al. The LIR space partitioning system applied to the Stokes equations // *Graphical Models*. – 2015. – Vol. 82. – P. 58-66.
9. Hilpert M., Miller C.T. Pore-morphology-based simulation of drainage in totally wetting porous media // *Advances in Water Resources*. – 2001. – Vol. 24. – P. 243-255.
10. Silin D. et al. Microtomography and Pore-Scale Modeling of Two-Phase Distribution // *Transport in Porous Media*. – 2011. – Vol. 86. – P. 495-515.
11. Ahrenholz B. et al. Prediction of capillary hysteresis in a porous material using lattice-Boltzmann methods and comparison to experimental data and a morphological pore network model // *Advances in Water Resources*. – 2008. – Vol. 31., I.9. – P. 1151-1173.
12. Schulz V. et al. Pore-Morphology-Based Simulation of Drainage in Porous Media Featuring a Locally Variable Contact Angle // *Transport in Porous Media*. – 2015. – Vol. 107., I.1. – P. 13-25.
13. Andrä H. et al. Digital rock physics benchmarks Part II: Computing effective properties // *Computers and Geosciences*. – 2013. – Vol. 43. – P. 33-43.
14. Saxena H. et al. References and benchmarks for pore-scale flow simulated using micro-CT images of porous media and digital rocks // *Advances in Water Resources*. – 2017. – Vol. 109. – P. 211-235.
15. Menke H.P. et al. 4D multi-scale imaging of reactive flow in carbonates: Assessing the impact of heterogeneity on dissolution regimes using streamlines at multiple length scales // *Chemical Geology*. – 2018. – Vol. 481. – P. 27-37.
16. Berg S. et al. Connected pathway relative permeability from pore-scale imaging of imbibition // *Advances in Water Resources*. – 2016. – Vol. 90. – P. 24-35.

Барков Святослав Олегович

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, г. Москва
Аспирант, м.н.с. лаборатории геомеханики
Тел.: +7(495) 434-41-60
E-mail: sviatoy97@gmail.com

Химуля Валерий Владимирович

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, г. Москва
К.ф.-м.н., м.н.с. лаборатории геомеханики
Тел.: +7(495) 434-41-60
E-mail: khim@ipmnet.ru

УДК 550.370

А.А. БЫКОВ, Д.И. СУРЖИК, Г.С. ВАСИЛЬЕВ, О.Р. КУЗИЧКИН
A.A. BYKOV, D.I. SURZHNIK, G.S. VASILIEV, O.R. KUZICHKIN

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ГЕОДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЗЕМЛЯНОМ ПОЛОТНЕ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

FORECASTING THE DEVELOPMENT OF DEFORMATION PROCESSES IN THE RAILWAY ROADBED

В работе исследуются вопросы организации системы геодинамического контроля, позволяющей регистрировать и прогнозировать развитие геодеформационных процессов в земляном полотне железной дороги в условиях высокой карстоопасности. Предложенные методы позволят повысить достоверность оценок при геодинамическом контроле. Получена зависимость относительного изменения передаточной функции от контрастности электрических параметров двух контактирующих сред. Показано, что расположение карстовой границы двух сред хорошо определяется даже при незначительных различиях электрических параметров сред.

Ключевые слова: Железнодорожный путь, земляное полотно, геодинамические процессы, мониторинг геологической среды

The paper examines the issues of the organization of the geodynamic control system, which allows registering and predicting the development of geodeformation processes in the railway roadbed in conditions of high karst hazard. The proposed methods will increase the reliability of estimates under geodynamic control. The dependence of the relative change in the transfer function on the contrast of the electrical parameters of the two contacting media is obtained. It is shown that the location of the karst boundary of the two media is well determined even with minor differences in the electrical parameters of the media.

Keywords: Railway track, subgrade, geodynamic processes, monitoring of the geological environment

Половина всей земной поверхности сложена породами, испытывающими влияние карстовых процессов (появлению системы полостей в растворимых породах). Зачастую это приводит порой к неожиданному резкому нарушению формы поверхности и вмещающей среды [1]. Геодинамика приповерхностного слоя основания железнодорожного полотна, вызываемая карстовыми процессами и внешней нагрузкой, может привести к возникновению аварий. Особенно это актуально в настоящее время, когда ведется интенсивное освоение районов с повышенной карстоопасностью.

Причинами деформации земляного полотна железнодорожного пути могут быть приповерхностные геодинамические процессы (такие как карстовые и суффозионные процессы), несоответствие мощности верхнего слоя основания условиям эксплуатации; дестабилизирующие воздействия климата и геологических условий (оползневые и селевые процессы, изменения уровней подземных вод и пр.). Таким образом, грунтовое основание железнодорожного полотна непрогнозируемо переходит в неустойчивое состояние [2]. Для ранней регистрации и прогнозирования деформации природно-технических систем необходимо знать текущее техническое состояние грунтового основания, что позволит значительно повысить эксплуатационную защищенность железнодорожного пути.

В настоящее время разработана методика мониторинга геологической среды в районах с повышенной карстовой опасностью методами инженерной малоглубинной геофизики [3]. Электрометрические методы зондирования сред обеспечивают эффективность наблюдений за геологическими объектами и прогноза их будущего состояния [3]. Сейсморезистивный метод предполагает регистрацию изменений силы тока при распространении упругих колебаний в среде (сейсмoeлектрический эффект первого рода). Данный эффект определяет характер влияния сгенерированного упругого воздействия или промышленного шума на результаты электрических измерений [4].

Развитие карста происходит в 4 этапа: вода, размывая породы образует трещины и происходит накопление воды в земной коре; вода просачивается все ниже, образуя пустоты; образуются карстовые формы рельефа, грунт обрушается. Вплоть до последнего этапа образование карста мо-

жет происходить без внешних проявлений на поверхности грунта, при этом в грунте происходят существенные изменения, которые и необходимо зафиксировать и спрогнозировать их развитие во времени.

В ходе лабораторных исследований (рисунок 1) было проведено моделирование размыва грунта и зафиксированы во время этого геодинамического процесса данные об изменении во времени характеристик зондирующих электрических сигналов. Проведенные исследования позволят выделять начальную стадию разрушения земляного полотна железной дороги и предупреждать возникновение аварий путем осуществления прогноза на основе зарегистрированных данных.



Рисунок 1 – Процесс размыва грунта в лабораторных исследованиях

Полученные данные показали, что электрические параметры среды изменяют свои характеристики в ходе возникающих в грунте разрушений. Дальнейшая обработка сигналов позволяет выявить наличие неоднородностей, их глубины и характеристики деформации [4]. При этом возникает задача разработки и исследования методов прогнозирования развития геодинамических процессов во времени.

Одним из методов прогнозирования является применение сверточных нейронных сетей (convolutional neural network, CNN) [5, 6]. Выбор сверточной нейронной сети обусловлен тем, что они устойчивы к зашумленным входным данным, что дает возможность использовать их в сложных условиях при наличии неопределенности и нестационарности входных данных. Также нейросети могут выявлять оптимальные индикаторы и стратегию предсказания для конкретного случая. Адаптивность этих стратегий позволяет учесть изменение физических характеристик зондируемого грунта.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 23-29-10126 «Интеллектуальная система контроля целостности земляного полотна железной дороги».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ашпиз Е.С. Мониторинг земляного полотна при эксплуатации железных дорог. — М.: Путь-пресс, 2002. — 112 с. ISBN 5-88332436-3/7
2. Строкова Л.А. Определение параметров для численного моделирования поведения грунтов. Известия Томского политехнического университета. 2008. Т. 313. №1, стр. 69-74.
3. Монахов В.В., Овчинников В.И., Урусова А.В., Савин А.Н., Большаков Д.К. Опыт применения геофизических исследований на деформирующихся участках земляного полотна железных дорог. Разведка и охрана недр. №12, 2005, стр.46-49
4. Kuzichkin O., Grecheneva A., Bykov A., Dorofeev N., Surzhik D. Methods and algorithms of joint processing of geoelectric and seismoacoustic signals in real time / International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. – 2018. - 18(1.1), pp. 877-884.

5. Vasilyev G.S., Kuzichkin O.R., Grecheneva A.V., Dorofeev N.V., Surzhik D.I. Analysis of the combined transfer functions for geotechnical control / International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. – 2018. - 18(1.2), pp. 43-50.

6. Hamed H.A., Elnaz J.H. (2017) Guide to convolutional neural networks. A practical application to traffic-sign detection and classification. Springer International Publishing.

7. Станкевич Т.С. Применение сверточных нейронных сетей для решения задачи оперативного прогнозирования динамики распространения лесных пожаров // Бизнес-информатика. 2018. № 4 (46). С. 17–27. DOI: 10.17323/1998-0663.2018.4.17.27

Быков Артем Александрович

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

Доцент кафедры Программная Инженерия

Тел.: +7(49234) 7-71-21

E-mail: Vykov_a_a@list.ru

Суржик Дмитрий Игоревич

Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром

Доцент кафедры управления и контроля в технических системах

Тел.: +7(919) 007-48-66

E-mail: arzerum@mail.ru

Васильев Глеб Сергеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород

Старший научный сотрудник инжинирингового центра

Тел.: +7(915) 751-66-47

E-mail: vasilievgleb@yandex.ru

Кузичкин Олег Рудольфович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород

Ведущий научный сотрудник кафедры информационных и робототехнических систем

Тел.: +7(910) 171-39-45

E-mail: kuzichkin@bsu.edu.ru

УДК 519.7

Г.С. ВАСИЛЬЕВ, О.Р. КУЗИЧКИН, Д.И. СУРЖИК, М.Д. БАКНИН, А.П. ЛЮЛЕНКОВ
G.S. VASILYEV, O.R. KUZICHKIN, D.I. SURZHİK, M.D. BAKNIN, A.P. LYULENKOV**МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ
АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ****MODELING OF NONLINEAR STABILITY OF AUTOMATIC CONTROL
SYSTEMS OF THERMOELECTRIC MODULES**

Моделирование и проектирование систем автоматического регулирования термоэлектрическими модулями Пельтье (ТЭМ) затруднено существенно нелинейными свойствами составляющих звеньев, а также объекта управления – модуля Пельтье. Получены соотношения, определяющие условия абсолютной устойчивости системы в нелинейном режиме по критерию Попова. Рассчитаны области устойчивости системы при варьировании параметров составляющих звеньев.

Ключевые слова: тригенерация энергии, термоэлектрический модуль Пельтье, кусочно-линейная аппроксимация, устойчивость, критерий Попова.

Modeling and design of automatic control systems by Peltier thermoelectric modules (TEM) is complicated by the essentially nonlinear properties of the constituent units, as well as the control object – the Peltier module. The relations defining the conditions of absolute stability of the system in the nonlinear regime according to the Popov criterion are obtained. The stability regions of the system are calculated with varying parameters of the component links.

Keywords: trigeneration of energy, Peltier thermoelectric module, piecewise linear approximation, stability, Popov criterion.

Совершенствование систем управления термоэлектрическими элементами требует разработки и внедрения новых способов их моделирования, позволяющих учитывать нелинейность элемента Пельтье в широком диапазоне управляющих токов, высокий порядок и сложную структуру системы с большим количеством объектов контроля и соответственно каналов управления, что характерно для систем климат-контроля АПК [1]. Несмотря большое количество исследований и широкое практическое использование ТЭМ на практике, вопросы обеспечения их устойчивости и показателей качества рассмотрены недостаточно.

Пример функциональной модели системы климат-контроля на основе ТЭМ с комбинированным регулированием показана на рис. 1. Передаточные характеристики блоков модели в цепях регулирования по возмущению и отклонению содержат нижние индексы 1 и 2 соответственно. На рисунке обозначено $x_{1,2}$ – дестабилизирующие факторы, воздействующие на датчики температуры цепей регулирования по возмущению и отклонению, ε – дестабилизирующее воздействие на регулятор температуры. Инерционные свойства модели задаются блоками $M_{1,2}(p)$. Нелинейные свойства модели задаются блоками $N_{1,2mn}$, $R_{1,2mn}$, E_m и N_m , где m и n – номера узлов аппроксимации нелинейных характеристик.

Согласно критерию В.М. Попова, для абсолютной устойчивости положения равновесия нелинейной системы с устойчивой линейной частью достаточно существования действительного g , для которого выполняется условие

$$\forall \omega \geq 0 : \operatorname{Re}[(1 + j\omega g)W(j\omega)] > -1/k, \quad (1)$$

где k – угол абсолютной устойчивости, $W(j\omega) = W_R(\omega) + jW_I(\omega)$ – комплексная передаточная функция фильтра в цепи обратной связи. Разработанная методика моделирования нелинейной устойчивости систем климат-контроля на основе ТЭМ при произвольно больших воздействующих возмущениях предполагает кусочно-линейную аппроксимацию комплексной передаточной функции системы отрезками прямых Попова, расчет угловых коэффициентов и абсцисс аппроксимирующих прямых.

Моделирование показало, что в нелинейном режиме работы системы климат-контроля ее область устойчивости существенно сужается по сравнению с линейным режимом. Так, верхнее граничное значение устойчивости для ПФ 6-го порядка уменьшается в 2 раза.

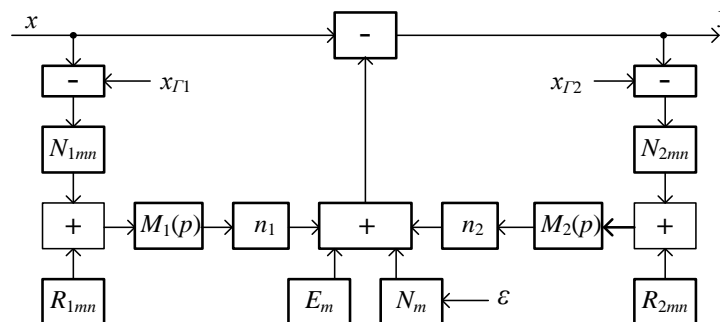


Рисунок 1 – Функциональная модель системы климат-контроля на основе ТЭМ с комбинированным регулированием

Различие областей устойчивости уменьшается с увеличением порядка фильтра обоих типов (как полосового, так и режекторного). Результаты расчета нижней границы абсолютной устойчивости для полосового фильтра совпадают с результатами расчета для линейного режима. Разработанная методика позволяет анализировать устойчивость системы произвольного порядка с варьируемыми коэффициентами, что актуально для диагностики системы с деградирующими в процессе эксплуатации параметрами.

Работа выполнена в рамках государственного задания РФ «Исследование и разработка комплексных энергосберегающих и термоэлектрических регенеративных систем» заявка № 2019-1497, предметный номер FZWG-2020-0034.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vasilyev, G.S., Kuzichkin, O.R., Surzhik, D.I. Method for modeling dynamic modes of nonlinear control systems for thermoelectric modules(2021) Advances in Dynamical Systems and Applications, 15 (2), pp. 187-197. DOI: 10.37622/ADSA/15.2.2020.187-197.

Васильев Глеб Сергеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
 Старший научный сотрудник инжинирингового центра
 Тел.: +7(915) 751-66-47
 E-mail: vasilievgleb@yandex.ru

Кузичкин Олег Рудольфович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
 Ведущий научный сотрудник кафедры информационных и робототехнических систем
 Тел.: +7(910) 171-39-45
 E-mail: kuzichkin@bsu.edu.ru

Суржик Дмитрий Игоревич

Владимирский государственный университет, г. Владимир
 К.т.н., доцент кафедры «Управление и контроль в технических системах»
 E-mail: arzerum@mail.ru

Бакнин Максим Дмитриевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
 Лаборант-исследователь, институт инженерных и цифровых технологий
 E-mail: m.baknin@yandex.ru

Люленков Артем Павлович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
 аспирант института инженерных и цифровых технологий

УДК 519.7

Г.С. ВАСИЛЬЕВ, О.Р. КУЗИЧКИН, Д.И. СУРЖИК, М.Д. БАКНИН, А.П. ЛЮЛЕНКОВ
G.S. VASILYEV, O.R. KUZICHKIN, D.I. SURZHNIK, M.D. BAKNIN, A.P. LYULENKOV**МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ
АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ****MODELING OF STABILITY OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS
OF THERMOELECTRIC MODULES**

Для анализа устойчивости тригенеративной системы климат-контроля на базе термоэлектрических модулей (ТЭМ) разработана математическая модель системы в виде передаточных функций. Получены соотношения, определяющие условия устойчивости модели по критерию Найквиста. В результате моделирования рассчитаны области устойчивости системы при варьировании параметров составляющих звеньев.

Ключевые слова: тригенерация энергии, эффект Пельтье, термоэлектрические модули, передаточная функция, динамическая характеристика.

To analyze the stability of a regenerative climate control system based on thermoelectric modules (TEM), a mathematical model of the system in the form of transfer functions has been developed. The relations defining the conditions of stability of the model according to the Nyquist criterion are obtained. As a result of the simulation, the stability areas of the system are calculated with varying parameters of the component links.

Keywords: trigeneration of energy, Peltier effect, thermoelectric modules, transfer function, dynamic characteristic.

В последнее время наблюдается большой интерес к термоэлектрическому преобразованию энергии, а производство термоэлектрической аппаратуры активно развивается во всем мире. Так в течение последних лет средний прирост мирового производства термоэлектрических модулей (ТЭМ) и термоэлектрических устройств различного назначения составляет порядка 14-15%. Термоэлектрические преобразователи энергии имеют преимущества: возможность не только охлаждения, но и нагрева; независимость параметров термоэлектрических модулей от силы тяжести и ориентации в пространстве, а также малая чувствительность к высоким механическим нагрузкам [1]. Несмотря на широкую сферу применения ТЭМ и их очевидные преимущества, в настоящее время имеется ограниченное количество работ, посвященных разработке систем климат-контроля на основе термоэлектрических модулей, а также исследованию их устойчивости и показателей качества.

Пример функциональной схемы тригенеративной системы на основе ТЭМ представлен на рисунке 1. На схеме приняты следующие обозначения: РТ – регулятор температуры; ТЭМ – термоэлектрический модуль Пельтье; СВ – система вентиляции; ДТ – датчик температуры; КИ – компенсатор инерционности; $T_{жс}$ – желаемая температура; I_y – управляющий ток для термоэлектрического модуля Пельтье; $T_{ти}$ – температура точечного источника тепла/холода; T_d – температура на выходе датчика температуры; $T_{д комп}$ – температура на выходе датчика температуры после компенсатора инерционности.

Моделирование устойчивости системы выполнено на основе передаточной функции системы по желаемой температуре с использованием частотного критерия Найквиста и кусочно-линейной аппроксимации годографа (амплитудно-фазо-частотной характеристики) системы [2]. В составе РТ используется пропорционально-интегральный регулятор (ПИ). Инерционность датчика температуры была принята равной $T_d = 1$ с. Параметры регулятора при постоянной времени $T_d = 4$ с равны $k_p=2,5$, $k_i=0,625$, $\mu = 0,4$ с.

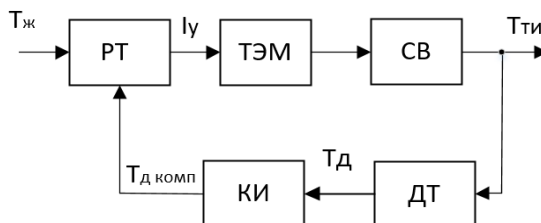


Рисунок 1 – Функциональная схема системы климат – контроля на основе ТЭМ

Выполнено моделирование устойчивости системы климат-контроля при изменении коэффициентов ПИ-регулятора, на основе анализа годографов установлено, что система сохраняет устойчивость. Рассчитаны границы области устойчивости коэффициента петлевого усиления от порядка системы, установлены условия нарушения устойчивости системы для порядка выше второго. Разработанная методика отличается возможностью анализа при произвольном порядке системы и варьировании ее коэффициентов, что представляет особый интерес для диагностирования системы с деградирующими в процессе эксплуатации параметрами.

Работа выполнена в рамках государственного задания РФ «Исследование и разработка комплексных энергосберегающих и термоэлектрических регенеративных систем» заявка № 2019-1497, предметный номер FZWG-2020-0034.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wang, J.; Wu, J.; Zheng, C. (2014): Analysis of trigeneration system in combined cooling and heating mode. Energy and Buildings, 72, pp. 353–360.
2. Vasilyev, G.S., Kuzichkin, O.R., Surzhik, D.I. Method for modeling dynamic modes of nonlinear control systems for thermoelectric modules(2021) Advances in Dynamical Systems and Applications, 15 (2), pp. 187-197. DOI: 10.37622/ADSA/15.2.2020.187-197.

Васильев Глеб Сергеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
 Старший научный сотрудник инжинирингового центра
 Тел.: +7(915) 751-66-47
 E-mail: vasilievgleb@yandex.ru

Кузичкин Олег Рудольфович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
 Ведущий научный сотрудник кафедры информационных и робототехнических систем
 Тел.: +7(910) 171-39-45
 E-mail: kuzichkin@bsu.edu.ru

Суржик Дмитрий Игоревич

Владимирский государственный университет, г. Владимир
 К.т.н., доцент кафедры «Управление и контроль в технических системах»
 E-mail: arzerum@mail.ru

Бакнин Максим Дмитриевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
 Лаборант-исследователь, институт инженерных и цифровых технологий

Люленков Артем Павлович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
 аспирант института инженерных и цифровых технологий

УДК 681.518

М.А. ВЕЛИЧКО, В.А. ЕСИН, Е.В. ЕСИНА
M.A. VELICHKO, V.A. ESIN, E.V. ESINA**ПРОГРАММНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ
УСТРОЙСТВОМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ
ДЛЯ КОНЦЕНТРАЦИОННОГО СТОЛА****SOFTWARE APPLICATION FOR THE CONTROL OF A VISION
DEVICE FOR A CONCENTRATION TABLE**

Работа посвящена разработке системы технического зрения для концентрационных столов. Показано, что новые технологии, применяемые при проектировании концентрационных столов, существенно помогут компаниям, специализирующимся на добыче и обогащении многих полезных ископаемых, при глубокой переработке строительных песков с целью получения более дорогостоящей продукции. Описан механизм разделения различных фракций на поверхности концентрационного стола. Показан процесс распознавания линии раздела системой технического зрения. Изображена структура системы и используемые элементы. Показана общая работа программного обеспечения, включая анализ изображения с камеры перед принятием решений и аппаратное управление.

Ключевые слова: техническое зрение, компьютерное зрение, обработка изображений, концентрационные столы.

The work is devoted to development of technical vision system for the concentration tables. It is shown that new technologies applied to the design of concentration tables will significantly help companies, specializing in extraction and handling of common minerals in deep processing of construction sands in order to obtain more expensive products. Described is the mechanism of different fractions dividing on the concentration table. Shown is the process of dividing line recognition by technical vision system. Depicted is the system structure and the used elements. Pictured is the software general operation including camera image analysis before making decisions and hardware control.

Keywords: technical vision, computer vision, image processing, concentration table.

Системы технического зрения обычно запрограммированы на выполнение узкоспециализированных задач, таких как подсчет или разделение предметов на конвейере, считывание кодов или серийных номеров, поиск дефектов поверхности или посторонних включений. Преимущества таких систем контроля, основанных на техническом «видении», включают значительное снижение эксплуатационных расходов, высокую скорость, возможность круглосуточной работы, точность повторных измерений.

Системы технического зрения не нуждаются в постоянном обслуживании. Они работают в соответствии с установленными алгоритмами, не устают, не болеют, не теряют концентрацию внимания. Современные системы видеонаблюдения можно контролировать удаленно с помощью Wi-Fi, LoRa, интернет-технологий и т.д. Они могут быть установлены в труднодоступных местах, где невозможно использовать человеческий труд.

Однако, обладая целым рядом преимуществ, компьютерные системы обработки изображений часто предназначены для выполнения одиночных, повторяющихся задач, и, несмотря на значительные улучшения в этой области, ни одна техническая система или система компьютерного зрения пока не может сравниться с некоторыми возможностями человеческого зрения с позиции понимания изображения, устойчивости к изменению освещения и ухудшению качества изображения и т.д.

Таким образом, техническое зрение имеет различные направления для будущего развития – как в аспекте совершенствования используемых технологий и алгоритмов, так и в плане расширения спектра применений.

Концентрационные столы предназначены для разделения минералов в водной среде по их плотности при переработке руд цветных, железистых, редких и благородных металлов [1]. Они используются в горнодобывающей и металлургической промышленности.

Концентрационные столы характеризуются достаточно высокой степенью обогащения (отношение массы исходной пробы к массе концентрата), которая может составлять 20...50, в зависимости от крупности материала и содержания в нем тяжелых минералов (при извлечении свободного золота степень обогащения достигает 1000 и более) [2-3].

Однако концентрационные столы имеют очень небольшую производственную мощность, несмотря на довольно большую площадь сосредоточения. Чтобы повысить их производительность, в конструкцию таких столов следует внедрять новые технологии. Автоматизация некоторых или большинства процессов обогащения помогла бы повысить их эффективность и даже расширить диапазон возможных применений.

Внедрение системы технического зрения является одним из таких процессов автоматизации. Машинное зрение позволяет концентрационному столу «видеть» границы между различными фракциями материала и, в соответствии с полученной информацией, принимать решения о перемещении приемных лотков, изменении частоты вращения двигателя, давления струи воды и т.д. [4].

Для решения этой задачи нами был разработан и установлен на концентрационном столе аппаратно-программный комплекс, позволяющий автоматизировать его работу. На рис. 1 представлено тестирование комплекса при различном естественном освещении. Для управления электронной частью устройства, обработки изображений и принятия решений было разработано специализированное программное приложение, являющееся частью комплекса.



Рисунок 1 – Тестирование аппаратно-программного комплекса при различном естественном освещении

Программа считывает изображение с камеры и помещает его в буфер обмена. Точку фокусировки камеры можно увидеть в главном окне приложения. Перед тем, как поверхность концентрационного стола начнет двигаться, изображение в приложении в точности повторяет то, что «видит» камера. На этом этапе, когда рама устойчива, рекомендуется произвести все настройки системы видеонаблюдения. Вскоре после начала перемещения деки стола в окне приложения также можно увидеть разницу в цвете между полезными зёрнами и пустой породой, то есть линию раздела зёрен. Программа позволяет с помощью компьютерной мыши выделять точки по обе стороны от этой линии, чтобы визуально определить цвета вблизи нее. Теперь, когда разделительная линия перемещается, «прицел» камеры следует за ней, как и сливное отверстие.

Пиксели изображения, которые были помещены в буфер обмена, анализируются программным приложением для идентификации цветов, выбранных выше. В соответствии с указанным алгоритмом отбираются только те участки изображения, где пиксели эталонных цветов находятся рядом друг с другом. Ширину искомого изображения также можно настроить в приложении. Сравнение цветов производится с допуском для оптимизации работы комплекса. Результатом обработки серии изображений с камеры является решение приложения о передаче управляющего сигнала на шаговый двигатель.

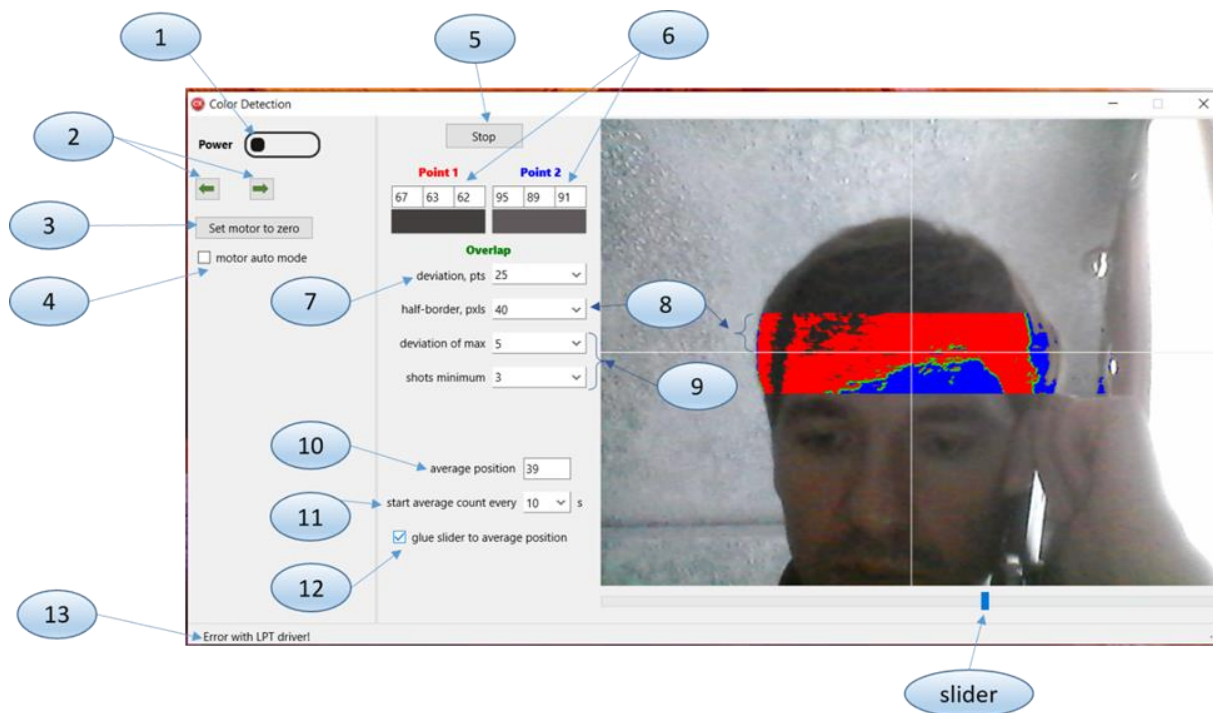


Рисунок 2 – Окно программы управления системой технического зрения

Главное окно программного приложения показано на рисунке 2. Человеческое лицо снимается камерой для уточнения цветопередачи. Примечания к цифрам на изображении приведены ниже. Они объясняют принцип работы программного обеспечения.

- 1) Кнопка запуска/остановки двигателя
- 2) «Единичное» смещение сливного отверстия влево или вправо. Перемещение сливного отверстия обеспечивается шаговым двигателем, использующим приводной ремень. Однократное переключение соответствует заданному количеству шагов, выполняемых двигателем. Это число настраивается в приложении и зависит от размера стола, положения камеры, настройки системы и т.д.
- 3) Установка нулевого положения сливного отверстия для начала подсчета смещений.
- 4) Этот флажок следует установить, чтобы синхронизировать перемещения сливного отверстия и ползунка под изображением камеры. В противном случае сливное отверстие сдвигается только при нажатии стрелок управления.
- 5) Запуск/остановка захвата изображений с камеры.
- 6) Левая и правая кнопки мыши используются для выбора 2 эталонных цветов на изображении камеры. Все пиксели, которые отвечают требованиям для соответствия цвету № 1 или цвету №2 и находятся в пределах выбранной полосы, изменят свой цвет на красный или синий соответственно. Пиксели, расположенные на границе синей и красной областей, окрашены в зеленый цвет. Следующий этап анализа изображения применяется только к зеленой области.
- 7) Допустимое отклонение цвета пикселя от эталонного цвета (точка 1 или точка 2). Его расчет основан на отклонении цветовых составляющих RGB.
- 8) Полуширина полосы, в пределах которой анализируются цвета.
- 9) В горизонтальном направлении полоса, в пределах которой анализируются пиксели изображения, делится на n сегментов. Если общее количество зеленых пикселей (расположенных на пересечении красных и синих пикселей) в определенном сегменте (при вычислении от левого к правому краю полосы) соответствует условиям, установленным в программе, ползунок перемещается к этому сегменту. Чтобы избежать реакции на каждое изменение количества зеленых пикселей, к перемещению ползунка могут быть применены определенные условия, такие как минимальное требуемое количество совпадений и минимальное требуемое изменение ко-

личества совпадений. Если эти условия не выполняются, ползунок остается в предыдущем положении (на предыдущем сегменте).

10) Установка ползунка под изображением с камеры. Этот параметр доступен только для чтения и соответствует одному из n сегментов полосы для анализа пикселей.

11) Период усреднения. Дека стола «вибрирует» взад-вперед во время обработки, поэтому изображение с камеры «дрожит». Зеленые пиксели на изображении также отражают колебания дека. Цель нашей системы визуального контроля состоит в том, чтобы определить смещение линии разделения между фракциями по отношению к прочно закрепленному столу, но не к вибрирующей деке. Поскольку дрожание изображения мешает нашей задаче, его следует устранить или свести к минимуму. В этой работе мы решили проблему путем суммирования и усреднения количества совпадающих пикселей. Период усреднения можно изменить в этом редактируемом поле.

12) Если этот флажок установлен, ползунок следует за средним значением совпадающих пикселей, в противном случае он следует за текущим значением.

13) Если драйвер LPT установлен правильно, появится строка «LPT driver OK».

Учитывая изменение цветоприятия при смене освещения, а также принимая во внимание высокую отражающую способность поверхности стола, рекомендуется использовать аппаратно-программный комплекс в помещении с постоянным освещением.

Прототип нашей системы технического зрения был успешно протестирован в реальных условиях переработки хвостов обогащения в Воронежском государственном университете. После некоторой модернизации этой системы она будет установлена на концентрационных столах, используемых для обработки титана, циркония и золота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савко А.Д. Цирконий-титановые россыпи Воронежской антеклизы : типы, эпохи и факторы формирования, прогноз / А.Д. Савко, А.Е. Звонарев, Д.А. Иванов // Геология рудных месторождений. Т. 54, № 1. – М., 2012. – С. 71-94 .

2. Ненахов В.М. Интегральная модель россыпеобразования на территории Воронежской антеклизы / В.М. Ненахов, Г.С. Золотарева // Литология и полезные ископаемые. – Москва, 2012. – № 1. – С. 26-40

3. Ненахов В.М. К вопросу о коренных источниках титан-циркониевых россыпных месторождений верхнего мела Воронежской антеклизы / В.М. Ненахов, Г.С. Золотарева // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Геология. – Воронеж, 2010. – № 1. – С. 94-101.

4. Chernyavskiy A.V. Technical vision system as a tool for improving the efficiency of production process Молодежь. Общество. Современная наука, техника и инновации. – Москва, 2021. – № 20. – С. 320-322.

Величко Максим Андреевич

Белгородский национальный исследовательский университет, г. Белгород
К.ф.-м.н., заведующий кафедрой математики факультета МиЕНО ПИ
Тел.: +7(919) 281-71-12
E-mail: Velichko@bsu.edu.ru

Есин Владимир Андреевич

Белгородский национальный исследовательский университет, г. Белгород
К.ф.-м.н., доцент кафедры математики факультета МиЕНО ПИ
Тел.: +7(910) 325-98-78
E-mail: Esin@bsu.edu.ru

Есина Елена Владимировна

Белгородский национальный исследовательский университет, г. Белгород
Магистрант кафедры информатики, ЕНДиМП факультета МиЕНО ПИ
Тел.: +7(915) 563-50-97
E-mail: elena_esina@mail.ru

УДК 519.677

Н.С. ВОРОБЬЕВ, Е.С. БОРОВИНСКАЯ
N.S. VOROBEV, E.S. BOROVINSKAYA**МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ДВУХФАЗНОЙ ЖИДКОСТИ
В МИКРОРЕАКТОРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИБЛИОТЕКИ
OPENFOAM****SIMULATION OF TWO-PHASE FLUID DYNAMICS
IN A MICROREACTOR USING THE OPENFOAM LIBRARY**

В данной статье рассмотрено применение библиотеки OpenFOAM для моделирования гидродинамики двухфазного потока в микроканале на примере смешения соевого масла и этанола. Для оценки эффективности протекания реакции с помощью ParaView был произведен расчет площади границы раздела фаз.

Ключевые слова: вычислительная гидродинамика; микроканал; двухфазный поток; граница раздела фаз; этанол; соевое масло;

This article discusses the use of the OpenFOAM library for modeling the hydrodynamics of a two-phase flow in a microchannel using the example of mixing soybean oil and ethanol. To evaluate the efficiency of the reaction, ParaView was used to calculate the area of the phase boundary.

Keywords: computational fluid dynamics; microchannel; two-phase flow; phase boundaries; ethanol; soybean oil

Микрореакторами называют миниатюрные системы для проведения реакций, изготовленные с применением специальной микротехнологии. Большинство современных микрореакторов имеют ширину каналов в диапазоне от 50 до 500 микрометров [1]. В микрореакторах для многофазных систем наблюдается особое тейлоровское течение (slug flow). Это течение возникает из-за трения сегментированной жидкости о стенки микроканала [2]. Тейлоровское течение часто обеспечивает хорошее разделение между фазами и способствует интенсификации процессов массо- и теплообмена. Оно образуется благодаря образованию внутри капель жидкости вторичных циркуляционных движений, которые способствуют перемешиванию. Благодаря этим особенностям применение микрореакторов является одной из наиболее перспективных технологий в сфере химической технологии.

Для максимальной эффективности использования микрореакторов необходимо проводить поиск оптимальных параметров проведения процесса. Для определения этих параметров целесообразно применять физические и математические модели. Компьютерное моделирование основано на математических моделях, описывающих поведение процесса. В связи с специальными течениями в микрореакторах особо актуальным становится моделирование гидродинамики в этих аппаратах.

Большинство доступного программного обеспечения для этой цели является коммерческим и имеет закрытый исходный код, что ограничивает возможности применения и анализа алгоритмов решения для научных задач.

Подходящим для целей работы инструментом является библиотека с открытым исходным кодом OpenFOAM. Библиотека обладает множеством встроенных алгоритмов (солверов) для решения задач гидродинамики. Одним из встроенных солверов является interFoam, предназначенный для моделирования двух несжимаемых жидкостей.

Несжимаемость жидкости означает, что плотность жидкости остается постоянной в пределах всей жидкости. В областях, где присутствуют две жидкости, плотность определяется с использованием уравнения [3]:

$$\rho = \alpha\rho_1 + (1 - \alpha)\rho_2 \quad (1)$$

где ρ – плотность, кг/м³; α – объемная доля первого вещества; ρ_1, ρ_2 – плотность первого и второго вещества соответственно, кг/м³;

Для моделирования был выбран фрагмент модели микрореактора, выделенный на рисунке 1(а). Использование фрагмента помогает сильно сократить время расчета, т.к. гидродинамические вычисления являются крайне времязатратными.

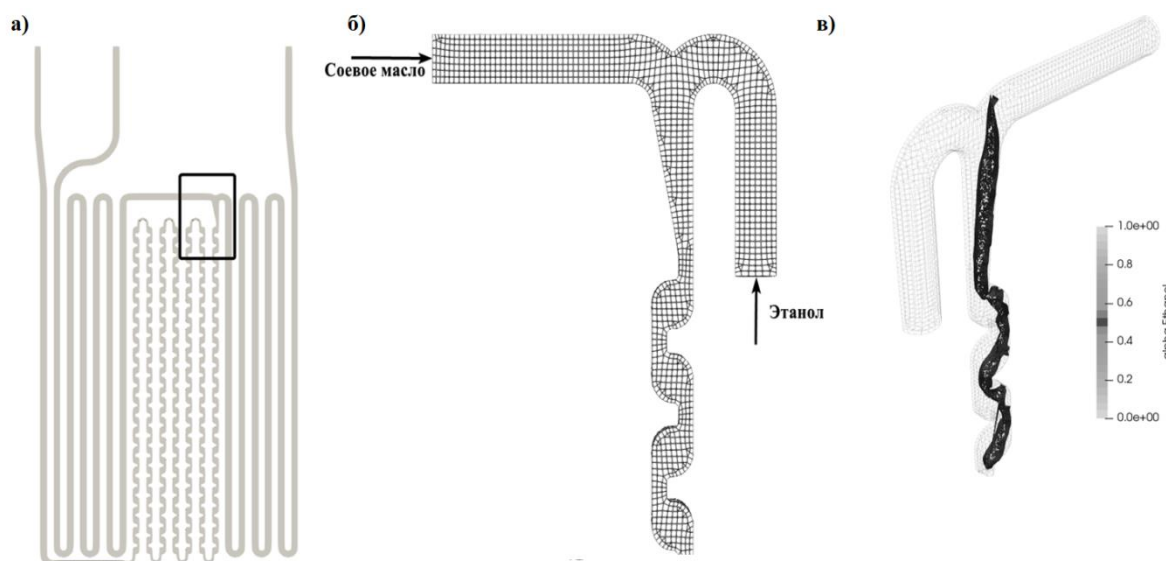


Рисунок 1 – Трехмерная модель микрореактора (а), расчетная сетка с обозначенными потоками жидкостей (б), граница раздела фаз, полученная в результате моделирования (в)

Для выбранного фрагмента микроканала генерировали сетку с использованием инструмента cfMesh. Размер элемента в сетке задан равным 0,25 мм по каждой из осей. Важной особенностью сетки является наличие динамического уточнения, которое позволяет автоматически увеличивать количество ячеек в определенной области в процессе расчета, основываясь на вычисленных характеристиках. Такой подход позволяет более точно определить границу раздела фаз, не требуя уменьшения размера ячеек во всей расчетной сетке. Это существенно сокращает время вычислений, поскольку только граница раздела фаз подвергается уточнению. На рисунке 1 (б) представлена полученная расчетная сетка.

На основе данной сетки и параметров, представленных в таблице 1, проведено моделирование процесса смешения потоков соевого масла и этанола. Значения плотности и динамической вязкости были взяты при 30 °С.

Для упрощения моделирования принято допущение, что между жидкостями не происходит химического взаимодействия, и каждая жидкость подается в чистом виде с объемной долей, равной единице, в соответствующем потоке.

Таблица 1 – Параметры моделирования

Жидкость	Плотность ρ , кг/м ³	Динамическая вязкость ν , кг/(м · с)	Объемный расход Q , мм ³ /с
Этанол	$7,81 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	21,1
Соевое масло	$9,13 \cdot 10^2$	$4,73 \cdot 10^{-5}$	2,0

Поскольку в начальный момент времени проведения вычислительного эксперимента начинается заполнение микрореактора жидкостями, на первом шаге важно определить момент наступления стационарного режима в реакторе. Для этого исследовали зависимость средней объемной доли этанола на выходе и ее приращения от времени. Под выходом здесь понимается конец расчетной области, т.е. выбранной области микрореактора.

Данные аппроксимировали полиномом 4-го порядка. На рисунке 2 показаны графики зависимости объемной доли этанола и ее приращения на выходе микроканала от времени при температуре 30 °С и объемном соотношении этанола к соевому маслу 10,5:1. Из рисунка 2 (б) можно сде-

лать вывод, что колебания объемной доли затухают в окрестности 30 секунд, эту точку и будем считать за время наступления стационарного режима.

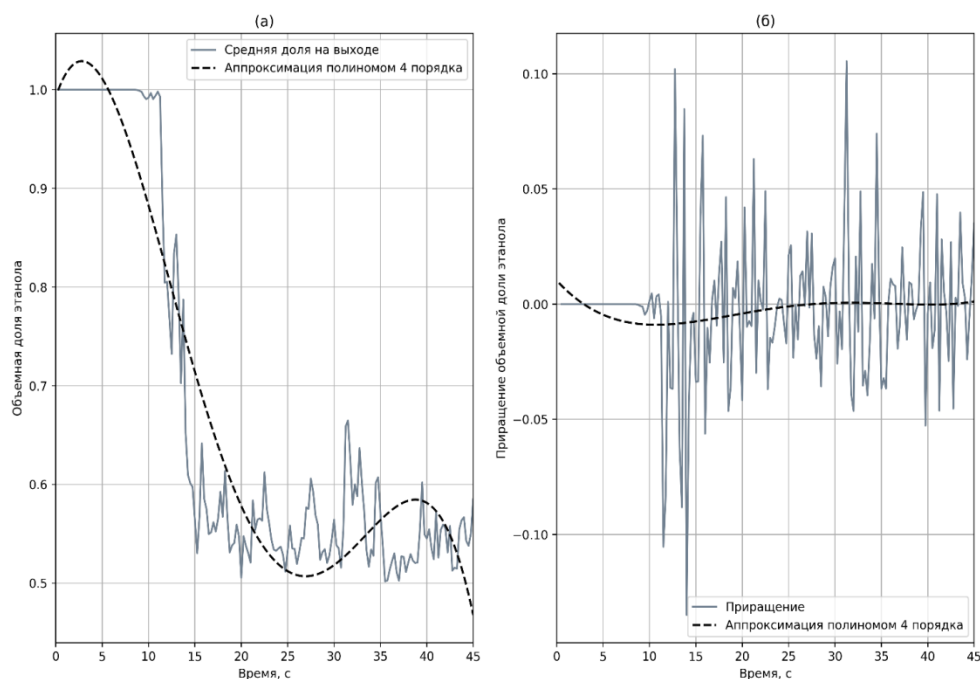


Рисунок 2 – Зависимость объемной доли этанола на выходе (а) и ее приращения (б) от времени при температуре 30 °С и объемном соотношении этанола к соевому маслу 10,5:1

Для определения оптимального режима смешения сформулировали критерий оптимизации в виде площади границы раздела между соевым маслом и этанолом. Границей считали область с объемной долей вещества в интервале от 0,49 до 0,51 (рисунок 1в). Рассмотрение площади происходит после наступления стационарного режима.

В ParaView с помощью последовательности фильтров isoVolume для alpha.Ethanol (объемная доля этанола в ячейке), extractSurface и integrateVariable вычислили площадь границы раздела фаз равную 57,13 мм². Ожидается, что ее значение будет изменяться в зависимости от условий смешения этанола и масла.

В данной работе показано применение библиотеки OpenFOAM для смешения соевого масла и этанола в микрореакторе. Используя графики зависимости объемной доли этанола от времени было установлено время наступления стационарного режима, которое позволило сократить время моделирования. С помощью ParaView, после наступления стационарного режима, определили площадь границы раздела фаз.

Возможно дальнейшее проведение исследований в данной области с использованием различных солверов или программного обеспечения. Кроме того, остается свобода выбора генератора сетки и его параметров, критериев оптимизации, а также свойств жидкости и объекта, которые могут быть учтены при моделировании. Это позволяет настраивать и адаптировать моделирование под конкретные условия и требования исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровинская, Е. С. Микроструктурные реакторы - концепции, развитие и применение / Е.С. Боровинская, В. П. Решетиловский // Химическая промышленность. – 2008. – Т. 85, № 5. – С. 1-31.
2. Боровинская, Е. С. Перспективы интенсификации гетерогенных процессов в микрореакторах / Е. С. Боровинская, В. П. Решетиловский // Российский химический журнал. – 2011. – № 2. – С. 78-79.

3. InterFoam//openfoamwiki.net: Unofficial OpenFOAM wiki. URL: <https://openfoamwiki.net/index.php/InterFoam> (дата обращения: 08.05.2023).

Воробьев Никита Сергеевич

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), г. Санкт-Петербург

Студент кафедры системного анализа и информационных технологий

Тел.: +7(996)412-57-33

E-mail: mlgnikitka@gmail.com

Боровинская Екатерина Сергеевна

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), г. Санкт-Петербург

Д.т.н., доцент, профессор кафедры системного анализа и информационных технологий

Тел.: +7 (812) 494-93-02

E-mail: ekaterina.borovinskaya@daad-alumni.de

УДК 51-74

А.И. ГОЛУБЕВА, В. РЕШЕТИЛОВСКИЙ
A.I. GOLUBEVA, W. RESCHETILOWSKI**УПРОЩЕНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ НА ОСНОВЕ
КОМБИНИРОВАННЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ****SIMPLIFICATION OF KINETIC MECHANISMS BASED ON COMBINED
MATHEMATICAL METHODS**

В данной статье рассматриваются методы упрощения кинетических механизмов с применением математических методов путем исключения наименее важных веществ и реакций.

Ключевые слова: Кинетическое моделирование, упрощение кинетических механизмов, последовательность упрощения, комбинация методов упрощения.

This article considers methods of simplifying kinetic mechanisms using mathematical methods by excluding the least important compounds and reactions.

Keywords: kinetic modelling, simplification of kinetic mechanisms, simplification sequence, combination of simplification methods.

Кинетические механизмы, описывающие химически превращения, могут быть очень сложными и включать в себя большое количество химических реакций. Часто многими из этих химических реакций можно пренебречь путем применения математических методов с целью уменьшения количества реакций и веществ участвующих в них. Как следствие упрощения моделей понижается точность модели, поэтому важно отслеживать адекватность модели на каждом этапе упрощения.

В настоящее время существуют большое количество математических методов нацеленных на упрощение сложных кинетических моделей. Все эти методы принято делать на две большие группы: методы для исключения параметров модели и методы для формирования брутто-реакций. Методы из первой группы позволяют исключать из механизма вещества и реакции, которые мало влияют на выход модели [1,2]. Методы из второй группы формируют небольшое количество брутто-реакций, используя для расчета скорости элементарные реакции [1]. Методы из обеих групп обычно применяют последовательно: сначала выбирают и используют метод из первой группы и затем применяют методы из второй группы. Такой подход позволяет на первом этапе уменьшить количество параметров модели, а затем обобщить полученный механизм за счет формирования небольшого числа брутто реакций.

Рассмотрим более подробно методы, применяемые на первом этапе. Как правило для их реализации используют алгоритмы, нацеленные на выбор веществ и стадий реакции, которые в наибольшей степени влияют на исследуемый процесс [3,4]. В результате применения каждого из алгоритмов формируется набор параметров модели, характеризующих степень упрощения механизма и отражающих точностью полученной модели [5]. Существует несколько подходов к решению данной задачи: упрощение модели на основе анализа матрицы чувствительности параметров, исключение реакций на основе анализа скоростей образования веществ и упрощение схемы реакций на основе анализа матрицы Якоби.

Для анализа матрицы чувствительности параметров модели (констант скоростей реакций) можно использовать любой из стандартных методов для анализа чувствительности, например метод Морриса. В литературе для этой цели часто применяют метод анализа принципиальных компонент матрицы чувствительности (Principal components analysis, PCA) [6] и прямой метод анализа чувствительности (Direct sensitivity analysis, DSA) [7]. Минус данных методов в том, что они требуют больших вычислительных затрат, поскольку для анализа используют матрицы чувствительности отражающих влияния всех параметров модели во все моменты времени протекания реакции.

Скрининговые методы анализа чувствительности позволяют сэкономить вычислительные затраты и быстро получить информацию о матрице чувствительности.

Для анализа скоростей образования веществ в реакциях часто используют метод анализа скорости образования веществ (Rate of production analysis, ROP)[8], метод анализа графа прямых связей (Direct relation graph, DRG)[4], метод анализа графа прямых связей с распространением ошибок ((Directed Relation Graph with Error Propagation, DRGEP) и другие. Минус этих методов заключается в необходимости расчета скоростей всех реакций во все исследуемые моменты времени. Плюсом является необходимость получения численного решения кинетической задачи.

Для анализа времени превращения веществ на основе матрицы Якоби используют следующие методы: метод вычислительных сингулярных возмущений (Computational singular perturbation, CSP) [9] и метод внутреннего низкоразмерного многообразия (Intrinsic low-dimensional manifold, ILDM)[5]. Данные методы требуют расчета матрицы Якоби для всех моментов времени протекания реакций. Как правило, матрицу Якоби получают в ходе решения кинетической задачи с использованием неявных решателей обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ).[10]

Помимо вышеперечисленных способов для исключения наименее важных веществ и реакций также существует еще ряд других, которые нельзя отнести ни к одной из трех групп.

Метод смешивания реакций (Lumping) заключается в том, чтобы заменить все изомеры одного вещества на единственный эффективный изомер, а также во всех реакциях с изомерами данного вещества [11]. Однако данный метод подходит только для исследования реакций изомеризации и поэтому требует знания предметной области для проведения анализа.

Также для упрощения описания химических процессов и уменьшения вычислительных затрат используют методы табуляции. Типичным примером этой категории является адаптивное табулирование (In situ adaptive tabulation, ISAT), Метод кусочно-повторно используемая реализация решения Mapping (PRISM), или методы аппроксимации решения кинетических систем линейными комбинациями таблично заданных функций (High Dimensional Model Representation, HDMR) и полиномиальные табуляции.

ISAT представляет собой алгоритм аппроксимации нелинейных взаимосвязей. Он основан на нескольких линейных регрессиях, которые динамически добавляются по мере обнаружения дополнительной информации. Этот метод относится к адаптивным методам, поскольку он динамически добавляет новые линейные регрессии в хранилище возможных точек поиска. Он также поддерживает контроль ошибок, определяя более точную детализацию в областях повышенной нелинейности. Поиск по бинарному дереву пересекает текущие гиперплоскости для того, чтобы найти локальное линейное приближение. Большие временные затраты на построение таблицы и трудности с поиском данных в ней приводят к уменьшению преимуществ этого метода по сравнению с прямой интеграцией.

Для формирования системного подхода к упрощению кинетических механизмов и поиску оптимальных решений подобных задач были предприняты попытки комбинирования нескольких методов. В настоящий момент не существует единого подхода к последовательности такого применения. Каждый автор сам принимает решение о выборе методов и порядке их использования.

Так некоторые упрощенные механизмы окисления α -пиена были разработаны на основе подмножеств подобного главного химического механизма (Master Chemical Mechanism, MCM). MCM – это химический механизм, описывающий подробное газофазное тропосферное разложение ряда первично выбрасываемых летучих органических соединений. Также разработан механизм α -пиена Майнца (MAM) для образования вторичного органического аэрозоля (Secondary Organic Aerosol, SOA) в водных частицах (Chemical Transport Model, CTM). Механизм MAM сравнивался с другими эталонными механизмами образования озона, такими как RACM (Regional Atmospheric Chemistry Mechanism) и MCM, путем сравнения результатов, полученных несколькими выбранными сценариями. Его работоспособность по сравнению с исходными в самых разных условиях образования озона и SOA не установлена, а методика создания редуцированного механизма подробно не описана.

Так, в работе [12] одно и тоже подмножество MCM сокращается с помощью последовательно применяемых методов DRGEP, PCA, QSSA (метод квазистационарных концентраций), ROP, Lumping. Цель процесса восстановления механизма состоит в том, чтобы удалить менее важ-

ные вещества и реакции из химической системы, при сохранении точности прогнозов доминирующих видов для образования SOA и озона. Применение такого подхода достаточно сомнительно, так как использование большого количества методов не гарантирует качества упрощения. Применение метода ROP нецелесообразно использовать после QSSA, так как QSSA сильно влияет на стехиометрию и выражения для скоростей реакции.

Последовательное применение двух методов DGR и PCA также рассматривается в литературе [13]. Авторы считают, что исключение веществ это первоочередная задача при упрощении механизмов, так как число обыкновенных дифференциальных уравнений в системе определяется числом веществ, а не реакций.

В работе [10] автор последовательно применяет методы DRG, CSP, DSA, lumping. В отличие от работы [14] автор заменяет метод PCA, на CSP потому, что использование алгоритма CSP для определения важности реакции первоначального механизма позволяет сохранить набор реакций упрощенного механизма без изменения стехиометрии и выражений для скоростей, то есть в том же виде, в каком они присутствовали в детальном механизме. Для исследования химических реакций важно использовать методы, которые не повлияют на стехиометрию и выражения для скоростей. Только такой подход позволяет упростить расчет с целью упрощения расчета скорости реакции и снижения сложности вычислений.

Также предпринимаются попытки параллельного применения методов [15]. В этом случае из детального механизма исключается лишь то, что было исключено обоими методами. Таким образом могут быть компенсированы недостатки одного метода другим.

В работе показано наличие методов и их комбинаций, которые могут как последовательно так и параллельно применяться для упрощения кинетических механизмов. У каждого метода есть достоинства и недостатки, которые необходимо учитывать в каждом конкретном случае. До настоящего времени не существует единого подхода или набора правил для выбора одного метода или комбинации таких методов для упрощения кинетических механизмов. Таким образом, разработка единого структурированного подхода к применению методов упрощения кинетических моделей является весьма актуальной задачей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Goussis D.A. On the Construction and Use of Reduced Chemical Kinetic Mechanisms Produced on the Basis of Given Algebraic Relations / D.A. Goussis - J. Comp. Phys. 1996. V.128. P.261-273.
2. Shorter J.A. An Efficient Chemical Kinetics Solver Using High Dimensional Model representation / J.A. Shorter J.A., P.C. Ip - J. Phys. Chem. 1999. V.103. P.7192-7198.
3. Vajda S. Principal Component Analysis of Kinetic Models / S. Vajda, T. Turanui - Int. J. Chem. Kinet. 1985. V.17. P.55-81.
4. Pepiot P. Systematic Reduction of Large Chemical Mechanisms / P. Pepiot, H. Pitsch - 4th Joint Meeting of the U.S. Sections of the Combustion Institute, Philadelphia, PA, 2005. P.324-330.
5. Glassmaker N.J. Intrinsic Low-Dimensional Manifold Method for Rational Simplification of Chemical Kinetics / N. J. Glassmaker - 1999
URL: <http://www.nd.edu/~powers/nick.glassmaker>
6. Brown N. J. Mechanism Reduction Via Principal Component Analysis / N. J. Brown, G. Li - Int. J. Chem. Kinet. 1997. V.29. P.393-414.
7. Dickinson R.P. Sensitivity Analysis of Ordinary Differential Equation Systems – A Direct Method / R.P. Dickinson, R.J. Gelinis - J. of Comp. Phys. 1976. V.21. P.123-143.
8. Valorani M. Creta F. An automatic procedure for the simplification of chemical kinetic mechanisms based on CSP / M. Valorani, F. Creta - Comb. and Flame 2006. V.146. P.29-51.
9. Kazakov A. Chaos M. Computational Singular Perturbation Analysis of Two-Stage Ignition of Large Hydrocarbons / A. Kazakov, M. Chaos - J. Phys. Chem. 2006. V.110. P.7003-7009.
10. Лебедев А. В. Упрощение кинетических механизмов физико-химических процессов на основе комбинированных математических методов / А.В. Лебедев, М.В. Окунь, А.Е. Баранов, М.А. Деминский, Б.В. Потапкин . – Ижевск: Химическая физика и мезоскопия.2011.Том 13, №1, 2011. – 43–52 с. -10

11. Whitehouse L.E. Systematic reduction of complex tropospheric chemical mechanisms, Part II: Lumping using a time-scale based approach / L.E. Whitehouse, A.S. Tomlin - *Atm. Chem. and Phys.* 2004. V.4. P.2057-2081.

12. Xia A.G. Mechanism reduction for the formation of secondary organic aerosol for integration into a 3- dimensional regional air quality model: α -pinene oxidation system / A.G. Xia, D.V. Michelangeli - *Atmos. Chem. Phys.* 2009. V.9. P.4341-4362.

13. Massias A. An Algorithm for the Construction of Global Reduced Mechanisms With CSP Data / A. Massias, D. Diamantis - *Comb. and Flame* 1999. V.117. P.685-708.

14. Gou X. A dynamic multi-timescale method for combustion modeling with detailed and reduced chemical kinetic mechanisms / X. Gou, W. Sun - *Comb. and Flame* 2010. V.157. P.1111-1121.

15. Chen J.-Y. Development of Reduced Mechanisms for Numerical Modelling of Turbulent Combustion / J.-Y. Chen - *Workshop on Numerical Aspects of Reduction in Chemical Kinetics, CERMICS-ENPC, Cite Descartes – Champus sur Marne, France.* 1997. P.167-192.

Голубева Анастасия Игоревна

Санкт-Петербургский технологический институт (технический университет), г. Санкт-Петербург

Аспирант

Тел.: +79817038487

E-mail: rzs.kovaliv@gmail.com

Решетиловский Владимир

Дрезденский технический университет, Дрезден

Д.т.н., профессор

E-mail: wladimir.reschetilowski@tu-dresden.de

УДК 658.74.018.2

О.А. ИВАЦУК, А.А. ИВАХНЕНКО
O.A. IVASHCHUK, A.A. IVAKHNENKO**ПОДХОД К АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ УПРАВЛЕНИЮ
ЗАПАСАМИ МАЛОГО АВТОСЕРВИСНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ****METHODS AND MODELS OF AUTOMATED INVENTORY
MANAGEMENT OF A SMALL MOTOR TRANSPORT ENTERPRISE**

В данной статье авторы освещают проблему рационального управления запасами запасных частей автосервисных предприятий. Рассмотрено взаимодействие основных подсистем в автоматизированной системе управления автосервисным предприятием. Обоснована потребность в формировании адаптивной стратегии системы управления запасами в соответствии с прогнозными значениями спроса на запасные части с использованием средств автоматизации и программно-алгоритмического обеспечения. Сформирован подход к управлению запасами запасных частей на основе генерации временных рядов с оценкой как текущего, так и прогнозного спроса.

Ключевые слова: управление запасами, бизнес-процессы, автосервисное предприятие, прогнозирование спроса, адаптивная стратегия, подсистема управления, временные ряды, моделирование временного ряда автокорреляционная функция.

In given article authors review the problem of rational inventory management of spare parts for car service enterprises. The interaction of the main subsystems in the automated control system of a car service enterprise is considered. The need for the formation of an adaptive strategy for the inventory management system in accordance with the forecast values of demand for spare parts using automation tools and software and algorithmic support is substantiated. An approach to spare parts inventory management based on the generation of time series with an assessment of both current and forecast demand has been formed.

Keywords: inventory management, business processes, autoservice enterprise, demand forecasting, adaptive strategy, control subsystem, time series, time series modeling, autocorrelation function.

Современные транспортные средства являются многокомпонентными техническим изделиями. Один легковой автомобиль состоит в среднем из 30000 отдельных узлов и элементов, которые имеют различные показатели надёжности и годности, что формирует потребность в их систематической замене в процессе эксплуатации предприятиями сервиса.

Одним из признаков качественного технического обслуживания, ремонта и сервиса автомобилей является рациональная организация всей производственно-технической базы автосервисного предприятия (далее - АСП) [6]. При этом имеет место множество различных взаимосвязанных подсистем, которые и определяют качество проведения работ, важнейшей из которых является подсистема управления заказами и запасами. Ее основные задачи – реализация пополнения запаса и совершенствование процессов заказа, приобретения и перемещения требуемых комплектующих в условиях изменяющегося спроса. Эффективная деятельность данной подсистемы связана с поиском оптимального баланса между минимизацией затрат, связанных с хранением запаса на складе и отсутствием дефицита запасных частей, являющихся основой спроса.

На рисунке 1 представлена обобщённая схема взаимодействия основных подсистем в автоматизированной системе управления (далее – АСУ) АСП, где одной из важнейшей является подсистема управления заказами и запасами.

Исследования по управлению запасами при техническом обслуживании, ремонте и сервисе автомобилей проводились многими российскими и зарубежными учёными. При этом, в основном описаны методы автоматизации управления запасами, которые основаны на классических моделях, когда заданы интервалы поставок или объёмы заказов, используется определённая стратегия управления запасами, соблюдается постоянный темп потребления запаса, а также некоторые модификации данных методов [1].

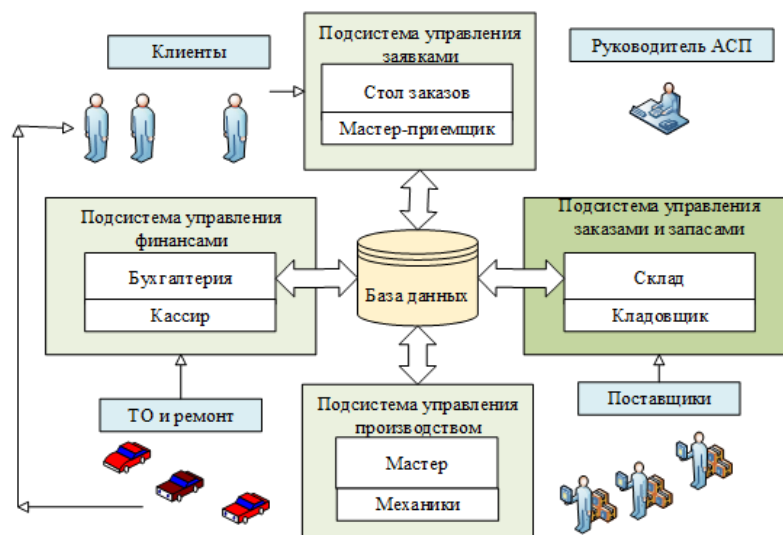


Рисунок 1 – Подсистема управления заказами и запасами в АСУ АСП

Такие модели хорошо применимы на крупных АСП, однако, для субъектов малого предпринимательства (которых более 90%, включая микропредприятия – более 85%) в условиях неопределённости – из-за непостоянства спроса на запасные части, узлы и компоненты (далее – ЗУК), отсутствия уверенности в прогнозах, возникновения конфликтов при решении задачи оптимизации, требующих не только вариации параметров стратегии, но и замены самой стратегии – подобные модели становятся либо слишком дорогими, либо приводят к повышенным рискам отказа в проведении различных операций ТОиР [9]. Материальные запасы запасных частей, ожидающих потребления, составляют значительную часть оборотных средств малого АСП. Также они, являясь наименее ликвидными краткосрочными активами, представляя собой по сути «замороженные» денежные средства. Кроме того, создание избыточного уровня запаса требует капитальных вложений на создание и функционирование складского хозяйства. В этой связи большое значение приобретает задача оптимизации уровня материального запаса и определение минимально необходимого уровня запаса для обеспечения непрерывной работы АСП при отсутствии дефицита и удовлетворения спроса клиентов на соответствующие услуги [10].

Выработка стратегии управления запасами запасных частей, адаптивной к постоянной динамике реального и прогнозного спроса, возможна при использовании современных средств автоматизации и технологий моделирования с разработкой специального математического и программно-алгоритмического обеспечения. Формирование адаптивных стратегий управления запасами позволяет повысить эффективность управленческих решений, оперативность функционирования подсистемы управления заказами и запасами.

Для выявления параметров и структуризации модели автоматизированной подсистемы управления запасами в составе АСУ АСП необходима систематизация подлежащих автоматизации бизнес-процессов (далее – БП) и соответствующих бизнес-функций (далее – БФ) АСП. Существенную долю от их общего числа составляют процессы мониторинга, анализа, планирования запасов и управления движением ЗУК. В работе проведены формальное описание и детализация этих БП и БФ [4]. На данной основе и, исходя из современных требований к построению АСУ технологическими процессами и производствами, разработана обобщённая структурная модель автоматизированной подсистемы управления запасами ЗУК, схематично представленная на рисунке 2.

Модуль поддержки принятия решений определяет принципиальную особенность при функционировании АСП малого предпринимательства: он наделен функциями оценки и прогнозирования спроса на ЗУК различной номенклатуры, автоматизированного определения и корректировки управляемых параметров стратегии управления запасами для сложившейся/прогнозируемой ситуации на малом АСП в условиях неопределённости спроса. При этом возможно осуществление не только корректировки параметров, но и сравнение различных стратегий с рекомендацией о смене в случае возникновения рисков снижения эффективности функционирования АСП [8].

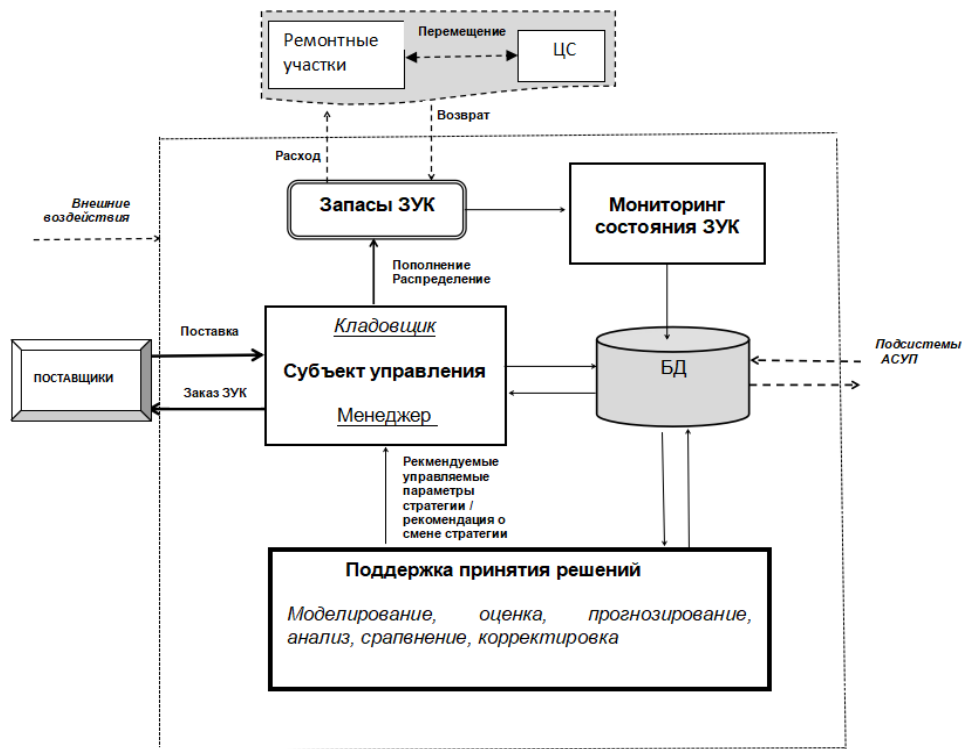


Рисунок 2 – Обобщённая модель подсистемы управления запасами в составе АСУ АСП

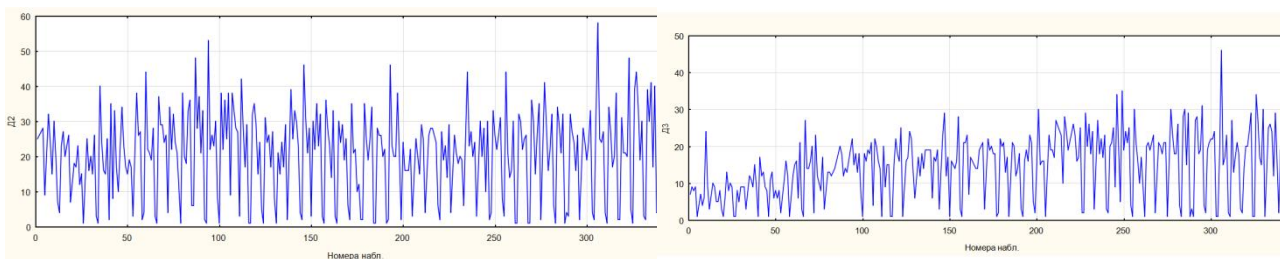
На практике наиболее часто используются две базовые стратегии (и их модификации): периодическая (с пополнением через заданные интервалы T) и стратегия с критическим уровнем (пополнение выполняется при снижении запасов до уровня Z_{min} на объем Z , или до Z_{max}). Результатом работы подсистемы управления заказами и запасами в АСУ АСП должна быть стратегия с найденными параметрами, обеспечивающая минимум общих затрат в данный период времени:

$$F = F_1 + F_2 + F_3, F \rightarrow \min \quad (1)$$

где F_1 – издержки на хранение/содержание запаса ЗУК; F_2 – потенциальная упущенная прибыль, связанная с отсутствием необходимой номенклатуры ЗУК в нужном объеме в текущий момент времени при наличии спроса; F_3 – общие затраты на приобретение партии у поставщика и транспортировку [5].

В результате предварительного анализа выделены группы ЗУК с наиболее стабильным спросом, по которым можно делать прогнозы, исходя из детального статистического анализа реальных потоков спроса с учётом их взаимосвязей [7].

Визуализация временных рядов состояния спроса показала несколько различный характер: например, наблюдается стационарный характер спроса в течение года на ремень генератора (рисунок 3а), т.о. для моделирования временного ряда спроса нужна только его стационарная составляющая; для топливного фильтра имеется выраженный тренд с 10 ед. в начале года до 20 ед. в конце года (рисунок 3б), т.о. необходимо на основе регрессионного анализа выделить тренд и наложить на стационарную составляющую с заданной автокорреляцией.



а) ремень генератора

б) топливный фильтр

Рисунок 3 – Временные ряды спроса на ремень генератора и топливный фильтр

Для моделирования стационарной составляющей временного ряда его базовой характеристикой является автокорреляционная функция (далее – АКФ), которая показывает инерционность процесса. АКФ $R(n) = M\xi_{n+k}\xi_k$ для временного ряда ξ_n по имеющимся статистическим данным вычисляется на основании выражения $\hat{R}_N(n, x) = \frac{1}{N-n} \sum_{k=0}^{N-n-1} x_{n+k}x_k$, где (x_1, x_2, \dots, x_N) представляют собой выборочные значения ряда длиной N (рисунок 4). Это оценка не смещённая, чем больше корреляция, тем прогноз лучше.

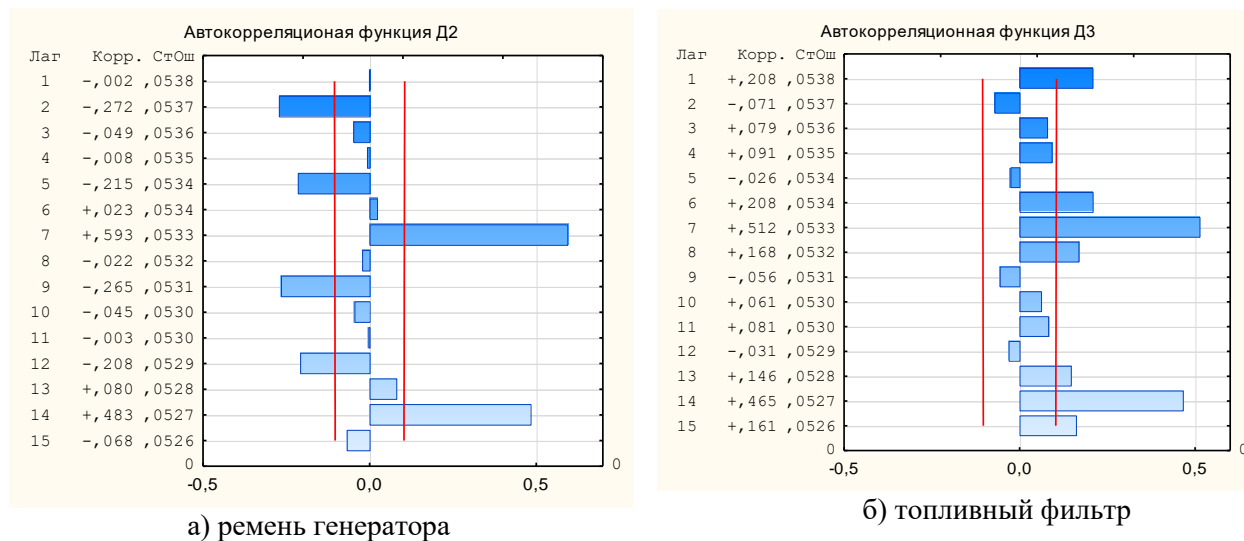


Рисунок 4 – Автокорреляционные функции на запасные части

В результате показано, что уже две главные компоненты дают более 85%, а три – почти 90% информации о поведении рядов спроса по всем выбранным (девяти) позициям. Т.о, генерация двух абстрактных модельных рядов обеспечивает точность более 85% для восстановления всех остальных рядов спроса на ЗУК.

Так как всего несколько главных компонент дают более 80% информации обо всех временных рядах спроса. В связи с этим для моделирования многомерного временного ряда спросов в работе предлагается процедура их восстановления по главным компонентам G_1, G_2, \dots, G_n .

Необходимо смоделировать временной ряд ξ_n , где $n=1,2,\dots$ с автоковариационной функцией R^{zad} для $m=1,2,\dots,N$, причем для $m>N$ полагается, что автокорреляция $R^{zad}(m)=0$. В качестве моделей временных рядов для генерации главных компонент использованы процессы скользящего среднего (МА-процессы) и авторегрессии (AR-процессы). На первом этапе алгоритма выполняется генерация последовательности независимых и одинаково распределенных случайных величин $\eta_i, i=1,2,\dots$ с дисперсией $D\eta_i=1$ и математическим ожиданием $M\eta_i=0$. Эта последовательность на основании введения коэффициента x_i преобразуется во вторичную $\xi_n = \sum_{i=1}^N x_i \eta_{i+n}$ – последовательность скользящего среднего. Основная задача алгоритма генерации – поиск x_i после преобразований в конечном счёте из системы N нелинейных уравнений $\sum_{i=1}^{N-m} x_i x_{i+m} = R^{zad}(m), m=0,1,\dots,N-1$. На основании разработанного алгоритма можно сформировать временные ряды главных компонент, а на основании регрессионных моделей сформировать модели рядов ЗУК как взвешенные суммы главных компонент [3].

Таким образом, может быть сформирован подход к управлению запасами запасных частей на малых АСП на основе генерации временных рядов с оценкой как текущего, так и прогнозного спроса. Формирование адаптивной стратегии управления запасами на основе прогнозного спроса позволит снизить издержки на содержание материального запаса и увеличить уровень оборотных денежных средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карагодин В.И., Малютин В.О., Фаддеева Е.Ю., Ивахненко А.А. Новый подход к моделированию работы станции технического обслуживания автомобилей // В мире научных открытий. 2015. Красноярск: №6(66). С.184-193.
2. Чеботаев А.А., Крупенский Н.А., Ивахненко А.М., Ивахненко А.А. Повышение конкурентоспособности логистических услуг // В мире научных открытий. Красноярск: научно-инновационный центр, № 10.3(70) 2015.
3. Овчинникова, А.В., Матвеев, В.В., Норина, А.А. Математическая модель расчета оптимального количества ассортиментных единиц товарной категории // Вестник ЮУрГУ. – 2017. – №3. – С. 135-143
4. Ткаченко С.О. Анализ и оценка факторов, препятствующих развитию логистики предприятия малого бизнеса // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2017. №13. С. 76-81.
5. Орлова Н.А., Шиндина Т.А. Совершенствование логистической системы производственного предприятия // Сибирский журнал науки и технологий. 2018. №1. С. 182-187
6. Чеботаев А.А., Фаддеева Е.Ю., Ивахненко А.М., Ивахненко А.А. Учет амортизации при планировании малого транспортного бизнеса // Транспорт: наука, техника, управление ISSN: 0236–1914. 2018. №3. С.15-19.
7. Алексеева, Н.И., Алёхина, Ю.В. Управление товарными запасами предприятия на основе анализа системы показателей / Н.И. Алексеева, Ю.В. Алёхина // Стратегия предприятия в контексте повышения его конкурентоспособности. - 2019. - Т. 1. - № 5 (5). - С. 56-59
8. Сазонова, А.К., Матвийчук, Л.Н. Управление запасами предприятия и их оптимизация // Современные тенденции развития науки и технологий. - 2019. - Т. 8. - № 5. -С. 124-127.
9. Ивахненко А.А., Иващук О.А. Моделирование стратегий управления запасами автосервисного предприятия // Современные наукоемкие технологии. – 2022. – № 12-2. – С. 217-222
10. Ивахненко А.А., Иващук О.А. Адаптивная модель управления запасами автосервисного предприятия // Научно-технический вестник Поволжья. – 2022. – № 12. – С. 214-221

Иващук Ольга Александровна

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород
д.т.н., проф. зав. кафедрой Информационных и робототехнических систем
Тел.: +7(960) 626-47-38
E-mail: ivaschuk@bsu.edu.ru

Ивахненко Андрей Андреевич

ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»,
г. Москва
к.т.н., доц. доцент кафедры «Менеджмент»
Тел.: +7(915) 487-19-77
E-mail: ivakhnenko_aa@inbox.ru

УДК 621.926.6

О.Д. ИВАЩУК, О.М. ШЕМЕТОВА, И.В. УДОВЕНКО
O.D. IVASCHUK, O.M. SHEMETOVA, I.V. UDOVENKO**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ
В ВИХРЕВОМ СМЕСИТЕЛЕ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ****MODELING OF PARTICLE MOTION TRAJECTORIES IN A VORTEX
MIXER OF BULK MATERIALS**

Статья посвящена вопросу моделирования траектории движения частиц компонентов смеси в аппарате перемешивания вихревого типа, позволяющее проводить оценку качества работы смесителя при изменении его технологических параметров.

Ключевые слова: смеситель, смешивание, строительные смеси.

The article is devoted to the issue of modeling the trajectory of the movement of particles of mixture components in a vortex-type mixing apparatus, which makes it possible to assess the quality of the mixer operation when its technological parameters change.

Keywords: mixer, mixing, building mixtures.

В настоящее время в связи с бурным развитием строительной отрасли, продолжающимся с 2018 года ростом объемов строительного производства на 5-6 % в год, все большую роль начинают играть готовые строительные смеси, позволяющие значительно упрощать и интенсифицировать различные строительные процессы. Одним из базовых элементов технологического процесса производства готовых отделочных строительных смесей является смешение различных добавок с ее основным компонентом, параметры которого определяют однородность состава готового материала, являющейся одним из главных показателей качества современных строительных смесей.

Степень равномерности распределения составляющих компонентов по объему смеси, непосредственно связанная с эффективностью работы смесителя и осуществляемого им процесса смешивания, определяет не только эксплуатационные характеристики строительных смесей, но и условия и сроки их хранения, время их использования при производстве строительных работ.

В условиях производства исследование динамики процесса перемешивания остается единственным вариантом анализа качества работы смесителя и разработки мероприятий по улучшению его характеристик. При этом даже минимальные изменения конструкции аппарата смешения, его режимов работы приводят к необходимости повторного проведения всех экспериментальных исследований, что совершенно не приемлемо как с экономической точки зрения, так и с позиции требований непрерывности производственного процесса и стабильности его качества, в связи с чем фактически безальтернативным способом решения задачи достоверной оценки и повышения качества работы смесительного оборудования является создание адекватного математического описания процессов перемешивания, которое позволило бы существенно сократить процесс поиска оптимальных параметров конструкции и режимов функционирования аппарата смешения.

Вопросами математического описания процессов смешения, исследования их динамики и кинетики занимались такие российские и зарубежные исследователи как Макаров Ю.И., Кафаров В.В., Дорохов И.Н., Арутюнов С.Ю., М.В. Коробчук, А.Н. Веригин, Богданов В.С., Федоренко И.Я., Горшков П.С., Котов Р.А., Огурцов В.А., Балагуров И.А., Мизонов В.Е., Капанова А.Б. Unger D.R., Zhao L., Zhao Y., Liu C., Li J., Dong H. и многие другие [1-5]. Их исследования связаны с задачами улучшения технологической конструкции смесителей, созданием математических моделей процесса смешения и динамики смешиваемых потоков. В подавляющем большинстве источников приведены решения вопросов, связанных с аппаратами, в которых смешение обеспечивается вращением рабочего органа вокруг неподвижной оси [1], движением внутренних элементов конструкции [2, 3]. Также достаточно широко представлены вопросы, связанные с моделированием

ем работы вибрационных смесителей [4, 5], в которых на частицы смешиваемых сред накладывается только вибрационное воздействие.

Таким образом, не смотря на серьезный спектр исследованных и приведенных в специальной литературе вопросов, описание методов решения задачи моделирования движения компонентов смеси в вихревом смесителе фактически отсутствует. В связи с чем разработка и применение математических моделей перемешивания в смесителе вихревого типа, учитывающих влияние технических параметров аппарата на качество готового продукта и на интенсивность производства строительной смеси является востребованной задачей, решение которой позволит предприятию достичь конкурентных преимуществ при минимизации финансово-временных затрат на проведение модернизационных мероприятий.

Рассмотрим процесс захвата твердых частиц небольшого размера и массы и лежащих на плоской поверхности прямоочным воздушным потоком. Под действием втягивающего воздушного потока частицы при определенной критической скорости воздуха начинают двигаться вдоль поверхности, затем происходит их отрыв от нее и переход в аэрированное состояние. При втягивании частицы материала в воздушный поток на нее продолжает действовать ряд внешних сил: главным образом – сила лобового или аэродинамического сопротивления воздуха F_B , сила тяжести P , подъемная сила, силы Магнуса и Архимеда. Меньшее влияние оказывают силы молекулярного взаимодействия, электростатические силы, а также силы термо- и фотофореза.

Уравнение движения частицы материала в воздушном потоке по второму закону Ньютона имеет вид:

$$m \frac{d\vec{V}}{dt} = \sum_{i=1}^k \vec{F}_i \quad (1)$$

где m – масса частицы, кг; V – скорость движения частицы в закрученном потоке, м/с; t – время движения частицы, с; k – количество активных сил действующих на частицу материала в процессе ее перемещения; F_i – действующие силы, Н.

Сила аэродинамического воздействия воздуха, которая оказывает определяющее влияние на характер движения частицы материала в потоке определяется выражением:

$$\vec{F}_{\text{аэр}} = 1/2 k_{\phi} c \rho_{\text{в}} S |\vec{W}_t - \vec{V}| (\vec{W}_t - \vec{V}) \quad (2)$$

где k_{ϕ} – коэффициент формы частицы; W_t – скорость воздушного потока в данной точке аппарата, м/с; c – коэффициент аэродинамического сопротивления; $\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха, кг/м³; S – площадь поперечного сечения частицы, м².

Коэффициент аэродинамического сопротивления c зависит от формы частицы (этот момент чаще всего учитывают в коэффициенте формы), и в основном от числа Рейнольдса, и определяется как:

$$c = \frac{24}{Re} (1 + 0.17 Re^{2/3}) \quad (3)$$

где Re – критерий Рейнольдса, определяемый выражением:

$$Re = \frac{d |\vec{W}_t - \vec{V}|}{\nu}$$

где ν – вязкость воздуха (в данном случае $\nu = 1,5 \cdot 10^{-5}$ Па·с).

Далее решалось уравнение движения:

$$\frac{4}{3} \pi r^3 \rho_{\text{ч}} g + \frac{1}{2} k C \rho_{\text{в}} \pi r^2 U^2 = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_{\text{ч}} \frac{\partial v}{\partial t} \quad (4)$$

которое с учетом, что скорость потока $U = U_0 * \exp(-kl) = U_0 * \exp(-kvt)$, коэффициент аэродинамического сопротивления $c = \frac{24}{Re} (1 + 0.17 Re^{2/3})$, а число Рейнольдса

$Re = \frac{d|U-v|}{\nu}$, приобрело следующий вид:

$$g + \frac{3}{4 \rho_{\text{ч}} d} k \frac{24}{d|U_0 * \exp(-kvt) - v|} \left(1 + 0.17 \left(\frac{d|U_0 * \exp(-kvt) - v|}{\nu} \right)^{2/3} \right) \rho_{\text{в}} (U_0 * \exp(-kvt))^2 = \frac{\partial v}{\partial t} \quad (5)$$

где d – эффективный диаметр частицы, а ν – кинематическая вязкость жидкости.

Решение уравнения проводилось численными методами повышенной точности в специализированном пакете MatLab и позволило получить значения величины пройденного расстояния (от энергонесущей трубки) и скорости различных по массе частиц.

На рисунках 1 и 2 приведены зависимости скорости частицы от пройденного расстояния от энергонесущей трубки.

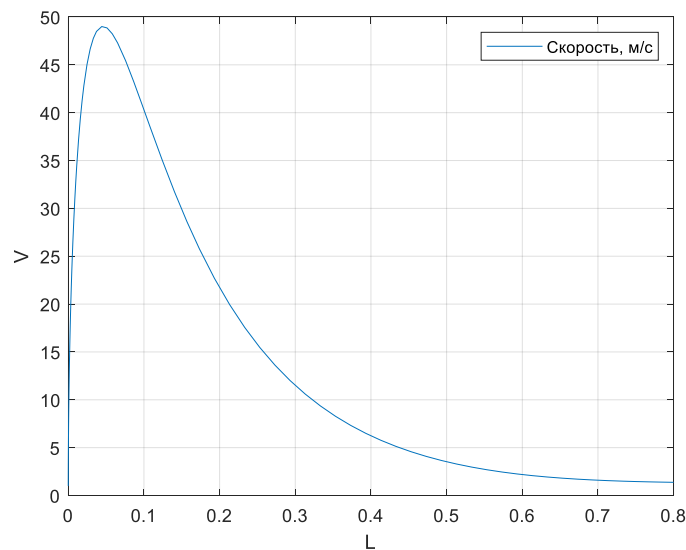


Рисунок 1 – Зависимость скорости частицы от пройденного расстояния от энергонесущей трубки. Плотность частицы 1400 кг/м^3 , размер $d=8 \cdot 10^{-5} \text{ м}$

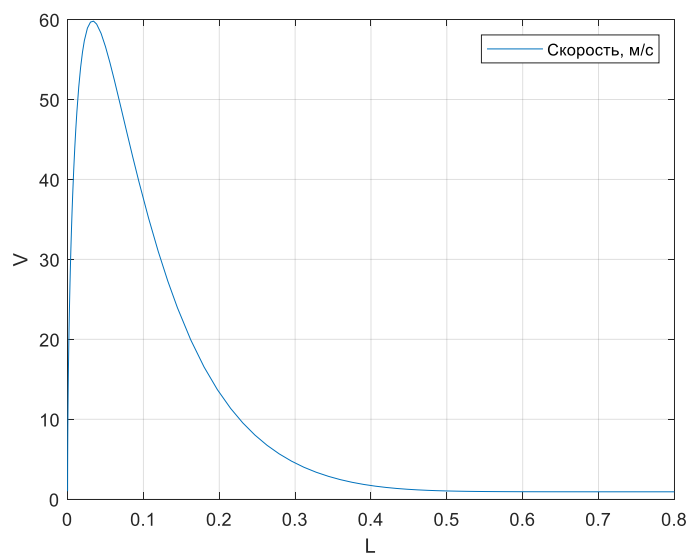


Рисунок 2 – Зависимость скорости частицы от пройденного расстояния от энергонесущей трубки. Плотность частицы 740 кг/м^3 , размер $d=8 \cdot 10^{-5} \text{ м}$

При этом решалось дифференциальное уравнение (6) с начальным условием: $v(t=0) = 0,5$; начальная скорость потока $U_0 = 100 \text{ м/с}$:

$$1/v \left(g + \frac{3}{4\rho_{\text{ч}}d} k \frac{24}{d|U_0 \cdot \exp(-kvt) - v|} \left(1 + 0.17 \left(\frac{d|U_0 \cdot \exp(-kvt) - v|}{v} \right)^{2/3} \right) \rho_{\text{в}} (U_0 \cdot \exp(-kvt))^2 \right) = \frac{\partial v}{\partial t} \quad (6)$$

Приведенные графики и расчеты показали, что максимальные скорости более тяжелых частиц на вертикальном участке больше примерно на 15% – 20%, чем скорости легких. А на выходе (в зоне попадания в разгрузочный патрубок) они практически равны и составили 0,6 м/с – т.е. того же порядка, что и скорость воздушного потока в этой зоне (0,3-0,5 м/с).

С целью построения общей траектории движения частицы в вихревом смесителе необходимо учесть ряд фактов: вначале частица после разгона на разгонном участке влетает горизонтально в верхнюю зону смесителя, имея угловую скорость, т.е. движется по окружности. При этом

она под действием силы тяжести P и «снижающегося» со скоростью 0,5- 0,8 м/с потока проходит расстояние по вертикали до зоны нахождения энергонесущей спирали.

В результате решения описанных выше уравнений получена траектория движения единичной частицы, приведенная на рисунке 3, отражающая все описанные факты и особенности.

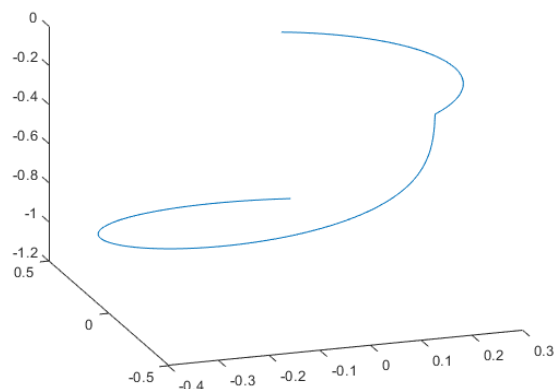


Рисунок 3 – Траектория частицы материала плотностью 740 кг/м^3 , $d=0,00003 \text{ м}$ при начальной скорости потока $U_0 = 100 \text{ м/с}$

Решение задачи построения совокупности траекторий потока, одновременно влетающих в смеситель частиц, отличающихся указанными выше характеристиками было реализовано в системе ManLab. Результаты моделирования, приведенные на рисунках 4 и 5 показали, что процесс перемешивания частиц начинает происходить уже в верхней зоне за счет разброса начальных направлений горизонтальной скорости частиц дисперсных материалов, влетающих в смеситель с заборного устройства.

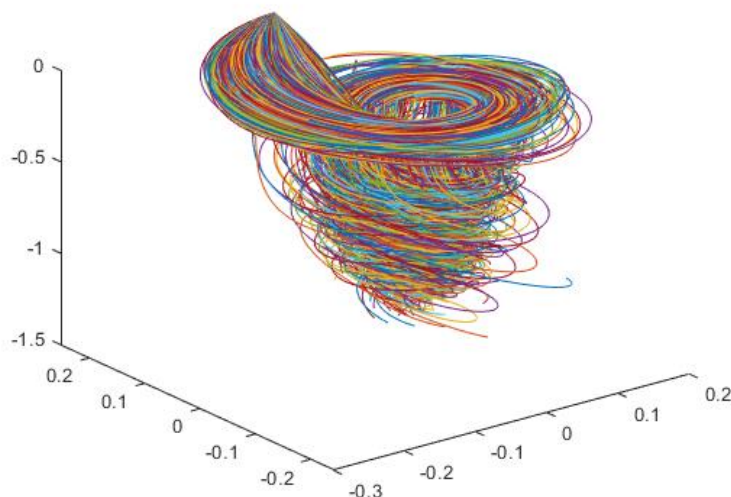


Рисунок 4 – Траектории поток частицы материалов различной плотности с размерами $d=0.00003 \text{ м}$

Наиболее интенсивное перемешивание происходит в зоне действия потока с энергонесущей спирали, при этом не наблюдается расслоения частиц по зонам, что свидетельствует о хорошем ожидаемом качестве перемешивания материалов в смесителе, что было подтверждено экспериментальными данными при анализе качества фактической смеси. В готовой смеси не выявлено зон и слоев, превышающих размер в $0,0001 \text{ м}$ и содержащих частицы только определенного материала, что подтвердило адекватность разработанных моделей и возможность их применения для прогнозирования качества работы вихревого смесителя.

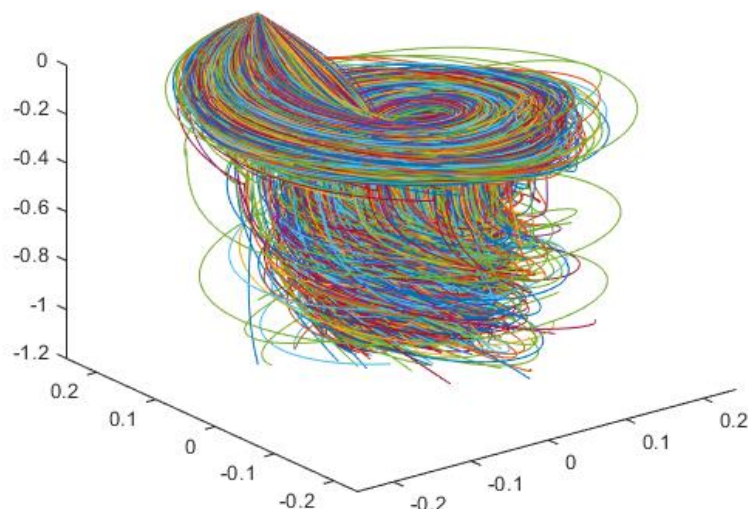


Рисунок 5 – Траектории поток частицы материалов различной плотности с размерами от $d=0.00003$ м до $d=0.00008$ м

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горшков П.С., Несмеянов Н.П. Описание процесса изменения концентрации ключевого компонента при получении сухих строительных смесей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова - Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2013. - №1. - С. 45.
2. Капранова А.Б., Бакин М.Н., Лебедев А.Е., Зайцев А.И. Исследование ударного смешивания твердых дисперсных сред при вторичных столкновениях частиц // Изв. ВУЗов. Химия и хим. технология. Иваново. - 2013. Т. 56, № 6. - С. 83-86.
3. Лебедев, А.Е. Аппараты для переработки дисперсных сред. Теория и расчет. Монография / А.Е. Лебедев, А.И. Зайцев, А.Б. Капранова, А.А. Ва-тагин, С. Суид. - Ярославль : Издат. дом ЯГТУ, 2017. - 176 с. ISBN 978-59914-0585-0.
4. Коробчук М.В., Веригин А.Н. Обзор современных вибрационных смесителей сыпучих материалов и тенденции их развития // Южно-сибирский научный вестник. - 2020, - № 4 (32). - С. 34 - 45.
5. Котов Р.А. Обоснование параметров вибрационного смесителя сыпучих кормов с гибким рабочим органом // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2015, -163 с.

Ивашук Орест Дмитриевич

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ»), г. Белгород
 к.т.н., доцент кафедры прикладной математики и компьютерного моделирования
 E-mail: ivaschuk_o@bsu.edu.ru

Шеметова Ольга Михайловна

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ»), г. Белгород
 ассистент кафедры информационных и робототехнических систем
 E-mail: shemetova_o@bsu.edu.ru

Удовенко Ирина Васильевна

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» (НИУ «БелГУ»), г. Белгород
 к.т.н., старший преподаватель кафедры информационных и робототехнических систем
 E-mail: udovenko@bsu.edu.ru

УДК62-523.2

КАУНГ МЬЯТ ХТУ, А.Н. АФОНИН
KAUNG MYAT HTOO, A.N. AFONIN**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАЛОГАБАРИТНЫХ
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В СРЕДЕ SIMULINK****SIMULATION MODEL OF SMALL ELECTROMECHANICAL
SYSTEMS IN SIMULINK**

В статье рассмотрены вопросы функционирования систем имитационного моделирования, создаваемых на основе современных пакетов прикладных программ. Системы позволяют исследовать характер изменения во времени выходных параметров малогабаритных электромеханических систем малой и средней мощности при различных режимах функционирования. Разработанная модель однофазного вибрационного микрогенератора, которая включает в себя последовательные ветви собственных параметров микроустройства, подключенного к активно-индуктивной нагрузке, обеспечивает удобный и наглядный визуальный контроль над поведением виртуальной системы энергообеспечения автономных малоомощных объектов.

Ключевые слова: программный комплекс, вибрационный микрогенератор, моделирование, имитационная модель, выходные параметры

The article discusses the issues of the functioning of simulation systems created on the basis of modern application software packages. The systems allow us to investigate the nature of the change in time of the output parameters of small-sized electromechanical systems of low and medium power under various operating modes. The developed model of a single-phase vibrational microgenerator, which includes successive branches of the micrometer's own parameters connected to an active inductive load, provides convenient and intuitive visual control over the behavior of the virtual power supply system of autonomous low-power objects.

Keywords: software package, vibration microgenerator, modeling, simulation model, output parameters

Малогабаритные электромеханические системы (МЭМС) находят все более широкое применение в современной технике. В частности они применяются в качестве датчиков различных физических величин, микрогенераторов электрической энергии и т.д. Для проектирования МЭМС крайне актуальной является проблема их имитационного моделирования.

Структура любой системы имитационного моделирования предполагает наличие четырех обязательных функциональных модулей, а именно:

- математическое ядро,
- система управления базами данных,
- графический редактор,
- серверы интерактивных воздействий и визуализации.

Все вышеуказанные модули считаются не только автономными, но, и по сути, являются независимыми самостоятельными программными продуктами [1].

Вся основная вычислительная нагрузка возложена на математическое ядро, которое исходя из приоритета математических функций и готовности аргументов, в соответствии с заданным алгоритмом, осуществляет выполнение математических функциональных потоков в заданном цикле. Эффективность функционирования математического ядра зависит от интенсивности потока данных, поступающих к модулям интерактивных воздействий и визуализации.

Инструмент, который дает возможность выполнить визуальное построение исследуемого объекта, а точнее его математической модели, в понятном широкому классу пользователей и специалистов виде, получил название графического редактора. Качественное выполнение данной операции с учетом различных масштабов на разных устройствах ввода-вывода, могут обеспечить только редакторы векторной графики. Графический редактор, реализация которого достаточно сложна, поддерживает десятки диаграмм различных видов. Кроме того графический редактор должен обладать открытостью объектной архитектуры и обладать всей необходимой документа-

цией для возможности его эффективного взаимодействия с другими перечисленными модулями программного комплекса.

Взаимосвязь между пользователем и функционирующим математическим ядром обеспечивают серверы интерактивных воздействий и визуализации. Последние позволяют отображать полученный на данный момент результат. В процессе симуляции указанный многофункциональный модуль позволяет изменять некоторые параметры исследуемой модели и отображает результаты моделирования в режиме реального времени в удобном виде для пользователя.

Разработка имитационно-моделирующих программ обычно требует, чтобы в качестве графического интерфейса использовался прикладной пакет векторной графики, а сервер визуализации и математическое ядро объединяются в единый программный модуль (см. рисунок 1). При этом графический интерфейс может быть дополнен:

- библиотеками графических условных обозначений блоков расчета математических функций;
- элементами схем замещения;
- набором специальных алгоритмов, которые контролируют процесс разработки имитационной блок-схемы.

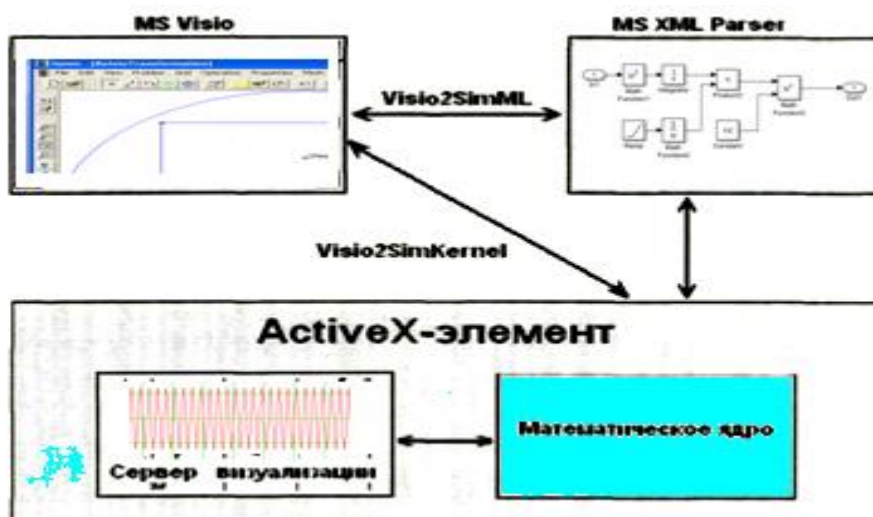


Рисунок 1 – Модули имитационно-моделирующей программы

Взаимодействие модулей обеспечивается с помощью специальных шлюзов, осуществляющих хранение и передачу данных от графического редактора к математическому ядру. Указанные шлюзы осуществляют следующие задачи:

- контроль над процессом разработки, как имитационной блок-схемы, так и физической схемы исследуемого объекта;
- распознавание имитационной модели и разработка правил для программирования математического ядра;
- управление процессами симуляции и визуализации результатов моделирования;
- синхронизация интерактивных воздействий;
- распознавание графических образов, которые отвечают за программирование потока;
- трансформация графических образов в управляющие правила математического ядра.

Обработка визуальной имитационной модели приводит к генерации управляющих, которые используются для создания необходимой конфигурации математического ядра имитационно-моделирующего комплекса.

Разработка рабочих чертежей имитационных моделей происходит с помощью вспомогательных графических блоков: входной и выходной разъемы расчетной области, определитель линии, переменные пользователя и т.п.

Снижение временных затрат, которые непременно связаны с копированием информации анализатором ядра, можно реализовать исключением математических функций из массива указан-

ных блоков, так как данные блоки не осуществляют преобразование сигналов, а только их передачу. Данная задача также решается с помощью правил рекурсивной обработки рабочих файлов, что приводит структурной трансформации хранилища модели и сохраняемых данных.

Полная деинкапсуляция модели реального физического устройства осуществляется объединением имитационной блок-схемы и физической схемы объекта, для чего требуется разработка специального графического языка, семантика которого разделяется на четыре группы условных графических обозначений:

- физические элементы реальных объектов,
- имитационные блоки,
- пограничные элементы,
- вспомогательные блоки и элементы.

Интеграция имитационных моделей и реальных электрических схем осуществляется через модели идеальных источников и потребителей энергии. Причем их условное изображение на чертеже имитационного модели может изменяться исходя из от того, что эти элементы могут являться как пограничными, так и нет. Данные элементы обычно имеют пять терминалов: R , L , C , E и J . Реальные физические элементы соответствуют осевым терминалам, а поперечные терминалы применяются для контроля над параметрами и состоянием элемента (один и два выхода соответственно). Состояние самих элементов оценивается с помощью двух физических величин 1-го и 2-го рода (например, ток и напряжение соответственно).

В качестве примера имитационной модели МЭМС можно привести разработанную имитационную модель однофазного вибрационного микрогенератора (ВМГ) с постоянными магнитами, представленную на рисунке 2. Данная модель включает в себя последовательные ветви собственных параметров микрогенератора, работающего непосредственно на выпрямительный диодный мост (*Universal Bridge*), который в свою очередь подключен к активно-индуктивной нагрузке.

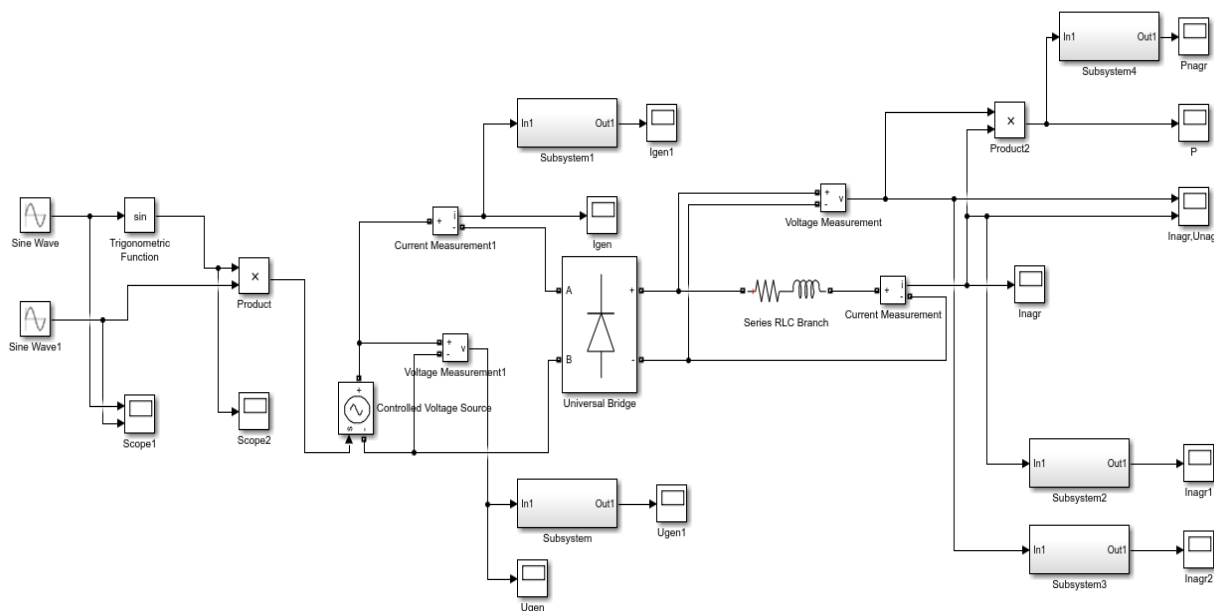


Рисунок 2 – Имитационная модель однофазного ВМГ, работающего на выпрямительную нагрузку

Разработанная модель ВМГ дает возможность осуществить:

- проверку адекватности ранее разработанных моделей ВМГ, а также установление корректности принятых при анализе допущений и обоснованности полученных теоретических выводов;
- определение и оценку технических характеристик ВМГ, обеспечивающего бесперебойную подачу энергии;

- исследование возможности использования данного устройства по другим функциональным назначениям (например, трансформатор-измеритель с регулируемым коэффициентом передачи энергии и т.п.);
- определение перспектив использования ВМГ для построения автономных систем электроснабжения устройств вычислительной техники и систем управления;
- определение возможностей дальнейшего развития конструкции ВМГ для получения улучшенных характеристик системы бесперебойного питания маломощных объектов.

Для исследования рабочих режимов функционирования ВМГ, обеспечивающего бесперебойную подачу энергии для узлов БСС, в интегрированной инженерной среде была разработана и исследована модель однофазного виброгенератора [2, 3] с постоянными магнитами. Имитационная модель ВМГ разработана с учетом характера задающих движение подвижного индуктора микрогенератора внешних механических колебаний.

Так как реальные возмущающие механические колебания как правило носят стохастический характер, это отражается на различных значениях амплитуд и частот колебаний относительно прямого и обратного хода подвижного индуктора ВМГ. Длины волн механических колебаний могут быть различными и, следовательно, между пиками колебаний проходит разный период времени [4].

На рисунках 3-6 представлены кривые, которые определяют после выпрямления изменения значений токов I_{gen} и напряжений U_{gen} ВМГ с постоянными магнитами на холостом ходу и при нагрузке (U_{nagr}, i) за один период колебательного движения подвижного индуктора $T = 5$ с.

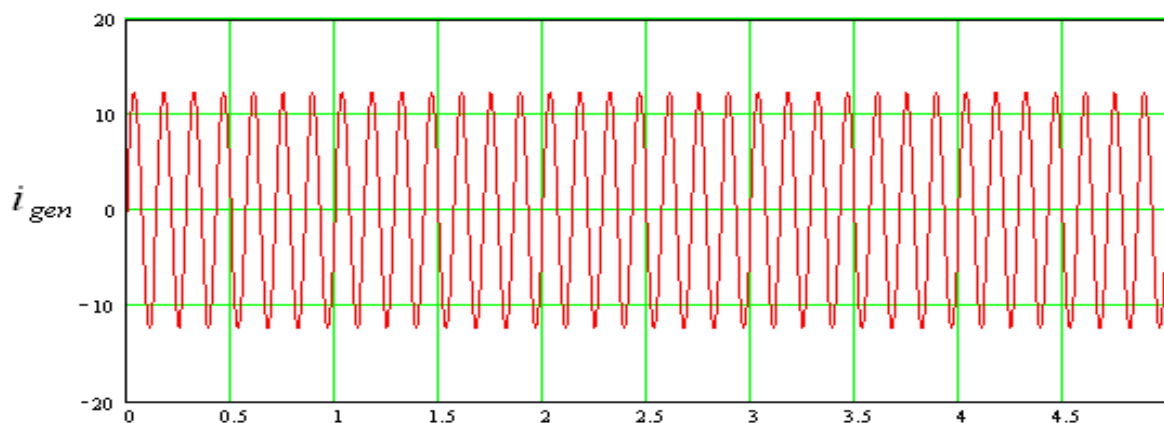


Рисунок 3 – Кривая изменения значений тока i_{gen} в однофазном ВМГ за период колебания подвижного индуктора $T = 5$ с

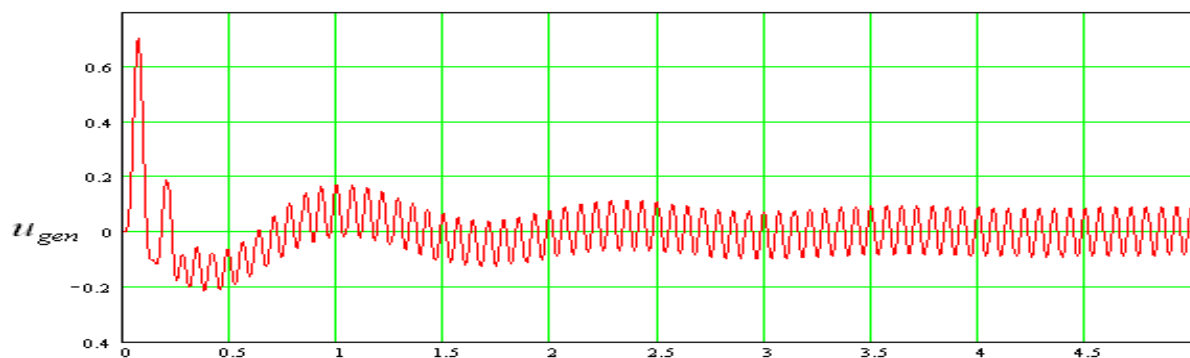


Рисунок 4 – Кривая изменения значений напряжения U_{gen} в однофазном ВМГ за период колебания подвижного индуктора $T = 5$ с

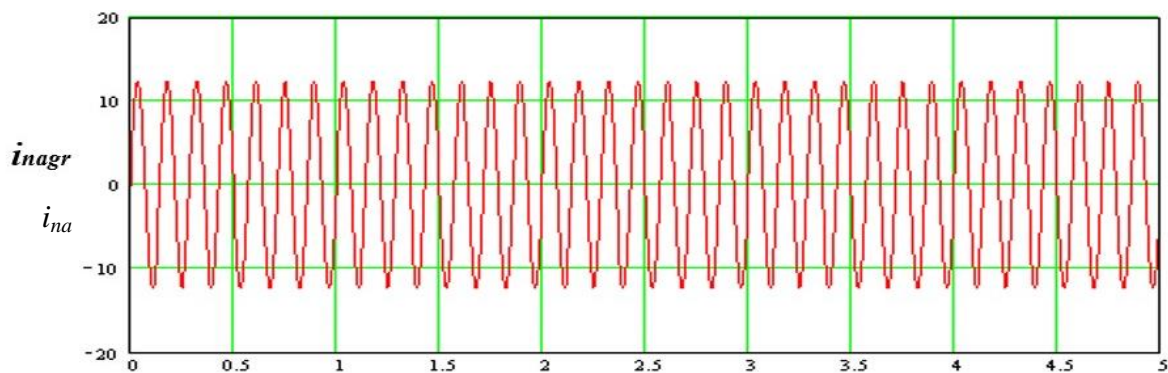


Рисунок 5 – Кривая изменения значений тока в нагрузке i_{nagr} после выпрямления за период колебания подвижного индуктора $T = 5$ с

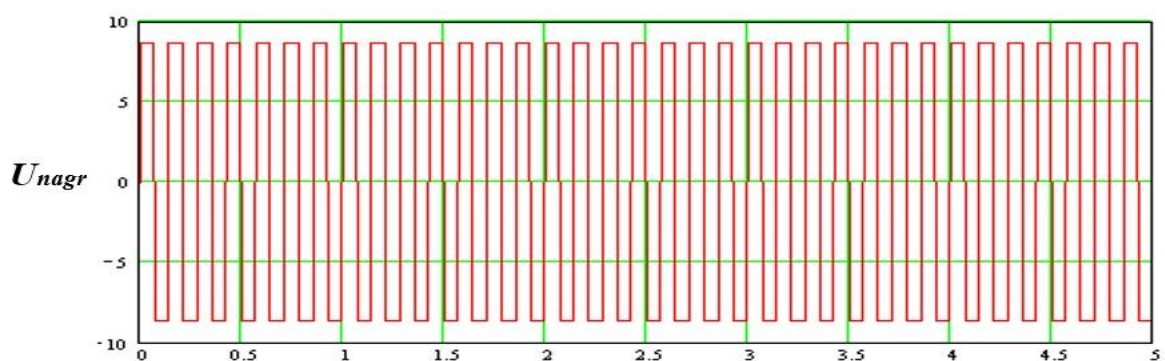


Рисунок 6 – Кривая изменения значений напряжения в нагрузке U_{nagr} после выпрямления за период колебания подвижного индуктора $T = 5$ с

Для исследования динамических характеристик микрогенератора, проводимые исследования были ограничены одним полным периодом колебания. При этом в каждом конкретном случае при анализе полученных значений необходимо проведение дополнительного исследования вида внешних возмущающих воздействий, определяющих движения подвижного индуктора ВМГ [5].

Из представленных результатов хорошо видно, что противо ЭДС катушки индуктивности приводит к увеличению действующих значений токов в микрогенераторе и нагрузке. При этом при работе ВМГ на выпрямительную нагрузку его энергетическая эффективность значительно выше, чем при работе без выпрямления на ту же нагрузку. В данном случае энергетическая эффективность функционирования на выпрямительную нагрузку синхронного ВМГ с постоянными магнитами больше в 1,6 раза, чем на ту же нагрузку без выпрямления. При изменении параметров нагрузки частота пульсаций выходного напряжения выпрямительного моста в сравнении с частотой выходного напряжения ВМГ будет уменьшаться или увеличиваться [6].

Важно отметить, что характер выпрямленного напряжения определяется низкой частотой колебаний подвижного индуктора, совершающего аperiодическое движение, что ограничивает использование данного напряжения без аккумуляции для последующего инвертирования. В тоже время, для маломощных автономных систем энергообеспечения, работающих в качестве дополнительного источника энергии, низкая частота и характер колебаний не оказывает существенного влияния на работу всей системы [7].

Компьютерное моделирование однофазного ВМГ, проведенное с использованием имитационной модели в интегрированной среде системы научных и инженерных вычислений Matlab, позволило исследовать характер изменения во времени действующих значений токов, напряжений и мощностей при различных режимах работы микрогенератора, и подтвердило ее работоспособность. Обработка визуальной имитационной модели приводит к генерации управляющих сигнала-

лов, которые используются для создания необходимой конфигурации математического ядра имитационно-моделирующего комплекса. Процесс создания в математическом ядре имитационно-моделирующего комплекса динамических конфигураций выполняемого кода осуществляется путем интенсивного использования оперативного запоминающего устройства компьютера и определяется информацией, которая хранится в рабочих файлах. Причем для разворачивания в памяти ЭВМ специального массива математических функций, данные файлы должны иметь линейную структуру. Но поскольку структура рабочих файлов не является таковой, т.к. содержит дополнительную информацию о графической модели, то для структурной трансформации используются специальные правила рекурсивной обработки.

Пакет Simulink позволяет автоматизировать наиболее трудоемкий этап моделирования, составляя и решая сложные системы алгебраических и дифференциальных уравнений, описывающих заданную функциональную схему (модель), обеспечивая удобный и наглядный визуальный контроль над поведением созданного пользователем виртуального устройства энергообеспечения автономных маломощных объектов.

Разработанная имитационная модель и ПО на ее основе могут быть использованы для проектирования таких МЭМС, как линейные ВМГ, при выборе их геометрических и конструктивных параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сливинская, А.Г. Электромагнитны и постоянные магниты [Текст]:/ А.Г. Сливинская // М.: Энергия, 1972.-248 с.
2. Херхагер, М. MATHCAD 14, полное руководство [Текст]: Пер. с нем. / М. Херхагер, Х. Партоль // Киев: BHV, 2008. - 514 с.
3. Дьяконов, В.П. Matlab7.* / R2006 / R2007: Самоучитель [Текст]:/ В.П. Дьяконов// М.: ДМК Пресс, 2008. - 768 с.
4. Микросхемы для импульсных источников питания [Текст]:/ З.-М.: Изд. дом «Додэка-XXI», 2002. - 288 с.
5. Сайт «TexasInstruments» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.ti.com., свободный.
6. Свинцов, Г.П. Модернизированный метод вероятных путей потока Ротерса [Текст]:/ Г.П. Свинцов // Изв. вузов. Электромеханика. 1995. № 5,6. - С. 28-33
7. Саттаров, Р.Р. Распределение магнитных потоков линейного генератора возвратно-поступательного движения [Текст]:/ Р.Р. Саттаров, Ф.Р. Исмагилов, Н.Л. Бабилова // Радиотехника, электротехника и энергетика. 15 Междунар.науч.-техн.конф. студентов и аспирантов: Т.2. М.: Издательский дом МЭИ, 2009, С.3-4.

Каунг Мьят Хту

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем
Тел.: +7(9801)-88-09-65
E-mail: kaungmhtoo16267@gmail.com

Афонин Андрей Николаевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Профессор кафедры информационных и робототехнических систем
Тел.: +7(4722) 30-77-77
E-mail: afonin@bsu.edu.ru

УДК 51-74

И.А. КОСТОМАРОВ, Д.К. ЕРШОВ
I.A. KOSTOMAROV, D.K. ERSHOV**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МЕТОДОВ ЧИСЛЕННОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ
НА РЕЗУЛЬТАТ РЕШЕНИЯ ПРЯМОЙ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ****ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF NUMERICAL INTEGRATION
METHODS ON THE RESULT OF SOLVING A DIRECT KINETIC
PROBLEM**

В данной статье освещается проблема численного решения прямой задачи химической кинетики для процесса алкилирования фенилацетонитрила.

Ключевые слова: численное интегрирование, химическая кинетика, прямая задача, алкилирование фенилацетонитрила.

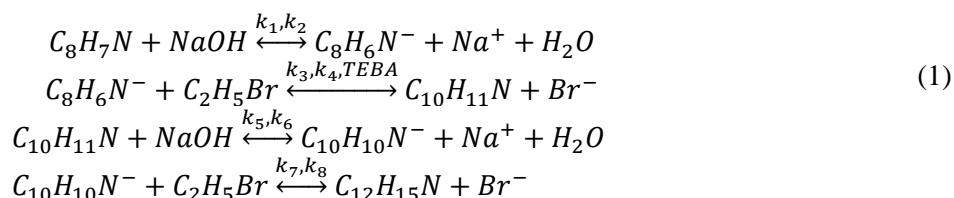
In this article, the authors highlight the problem of numerical solution of the direct problem of chemical kinetics for the process of alkylation of phenylacetone nitrile.

Keywords: numerical integration, chemical kinetics, direct problem, phenylacetone nitrile alkylation.

Химические реакции могут включать большое количество реагентов и промежуточных продуктов. Решение прямой кинетической задачи для таких систем сложно получить аналитическими методами. В этих случаях принято применять численные методы.

Одной из практически важных жидкофазных реакций, протекающих на границе раздела фаз, является реакция алкилирования фенилацетонитрила. На примере данной реакции была впервые показана возможность интенсификации процесса при проведении его в микроструктурном реакторе [1]. В данной работе на основании математической модели исследуемого процесса показана возможность решения прямой задачи химической кинетики для данного процесса и рассмотрено влияние выбора метода численного интегрирования на результаты вычислительного эксперимента.

Модель протекания процесса представляет из себя [2]:



где $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7, k_8$ – константы скорости прямой и обратной реакции.

Для проведения вычислительного эксперимента, т.е. расчета концентраций $C(t)$ в заданный момент времени по данному механизму, набору констант скорости k и значениям начальных концентраций C_0 разработан программный комплекс. На основании матрицы стехиометрических коэффициентов, показателей степени и констант скорости комплекс генерирует систему дифференциальных уравнений по закону действующих масс.

В программном модуле реализованы явные методы: Эйлера, средней точки, Рунге-Кутты 2-го и 4-го порядков, Рунге-Кутта-Мерсона, Рунге-Кутта-Фельберга и неявные методы: Эйлера, трапеций, Рунге-Кутта 2-го и 4-го порядков.

Для исследования влияния методов численного интегрирования на результаты решения прямой кинетической задачи было проведено несколько исследований данного процесса в разработанном комплексе с помощью методов различного порядка точности и устойчивости, чтобы определить влияние данных параметров на результат расчета (таблица 1).

На первом этапе (таблица 1, строки 1-2) был взят шаг по времени размером 1 секунда, однако при таком большом шаге эксперимент прошёл неудачно, так как при расчете любым из методов, интеграл уходил в бесконечность.

Таблица 1 – Результаты проведенных вычислительных экспериментов

Номер эксперимента	Метод решения	Время реакции, с	Шаг по времени, с	Результат
1	Эйлера (явный)	60	1	разошелся
1	Рунге-Кутта-Мерсона	60	1	разошелся
2	Эйлера (явный)	60	0,25	разошелся
2	Рунге-Кутта 2-го порядка (явный)	60	0,25	разошелся
2	Рунге-Кутта 2-го порядка (неявный)	60	0,25	разошелся
2	Рунге-Кутта 4-го порядка (явный)	60	0,25	разошелся
2	Рунге-Кутта 4-го порядка (неявный)	60	0,25	разошелся
2	Рунге-Кутта-Мерсона	60	0,25	сошелся
2	Рунге-Кутта-Фельберга	60	0,25	сошелся
3	Эйлера (явный)	60	0,2	разошелся
3	Рунге-Кутта 4-го порядка (явный)	60	0,2	разошелся
3	Рунге-Кутта-Мерсона	60	0,2	сошелся
3	Рунге-Кутта-Фельберга	60	0,2	сошелся
4	Все реализованные в комплексе методы	60	0,1	сошлись

На втором этапе (таблица 1, строка 3-9) была указана длительность процесса $t = 60$ секунд и размер шага по времени $h = 0,25$ секунд. В ходе второго эксперимента было установлено, что решение методом Эйлера с таким шагом невозможно, так как интеграл не сходится. При увеличении порядка метода и выполнении расчета методом Рунге-Кутта 2-го порядка результат был получен (рисунок 1(а)), однако интеграл колеблется, а значит является расходящимся.

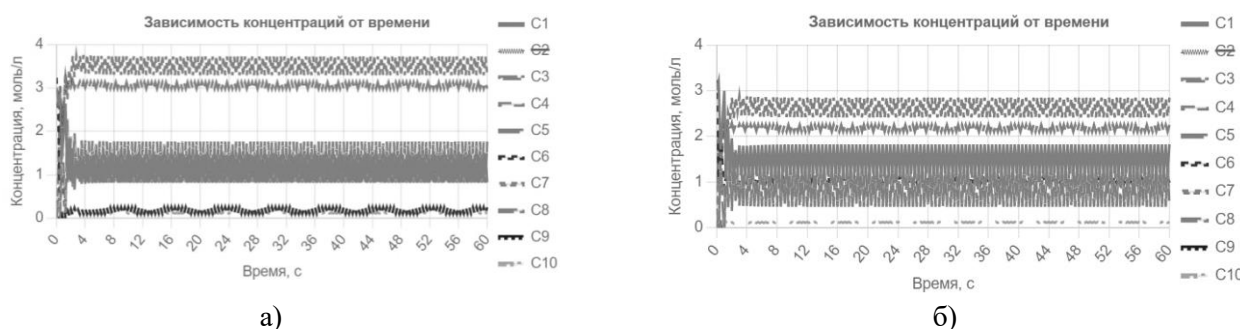


Рисунок 1 – Решение явным методом Рунге-Кутта 2-го порядка (а) и неявным методом Рунге-Кутта 2-го порядка (б) при $t = 60$ с, $h = 0,25$ с.

При тех же условиях было проведено решение неявным методом Рунге-Кутта 2-го порядка (рисунок 1(б)), который обладает большей устойчивостью по сравнению с явным методом, однако интеграл все равно расходится.

Далее был проведен расчет с помощью метода Рунге-Кутта 4-го порядка (рисунок 2(а)), который имеет большую точность и устойчивость, чем у методов 1-го и 2-го порядков за счет расчета четырех точек в правой части дифференциального уравнения. Однако в результатах расчета все равно присутствуют некорректные значения.

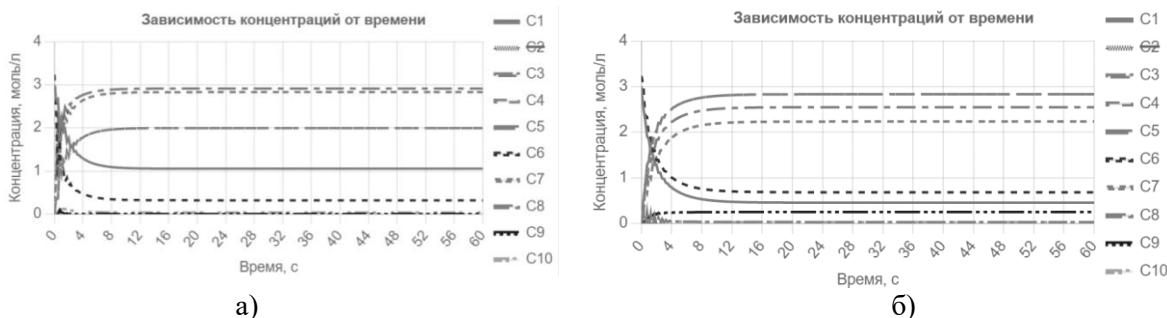


Рисунок 2 – Решение явным методом Рунге-Кутты 4-го порядка (а) и методом Рунге-Кутты-Мерсона (б) при $t = 60$ с, $h = 0,25$ с.

Наиболее точные результаты были получены с помощью методов Рунге-Кутты-Мерсона и Рунге-Кутты-Фельберга с пересчетом (рисунок 2(б), 3(а)). Благодаря тому, что они имеют 4-й и 5-й порядок точности и большую, по сравнению с предыдущими методами область устойчивости, интеграл не расходится, следовательно, можно оценить приближенные значения концентраций.

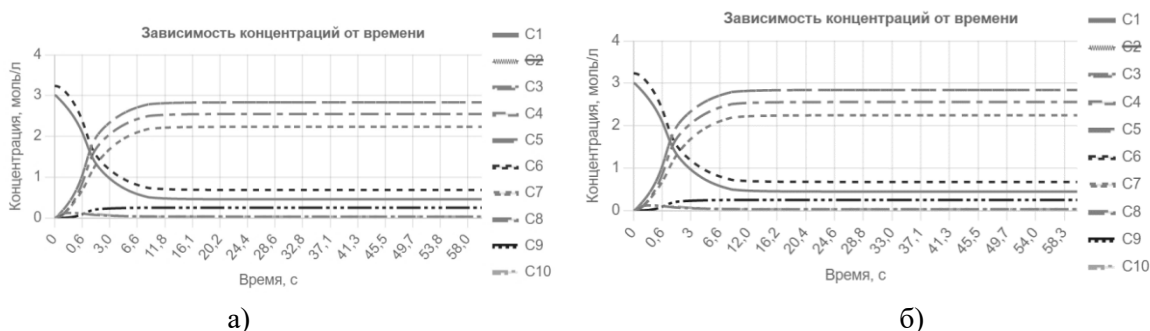


Рисунок 3 – Решение методом Рунге-Кутты-Фельберга при $t = 60$ с, $h = 0,25$ с. (а) и методом Рунге-Кутты-Фельберга при $t = 60$ с, $h = 0,2$ с. (б)

Стоит заметить, что метод Рунге-Кутты-Фельберга потребовал 288 точек при расчете, так как имеет функцию пересчета шага при большой ошибке, в отличие от остальных методов, которые потребовали 240 точек разбиения при длительности процесса $t = 60$ с, $h = 0,25$ с.

Третий этап (таблица 1, строка 10–13) был проведен с уменьшением шага по времени до $h = 0,2$ секунд.

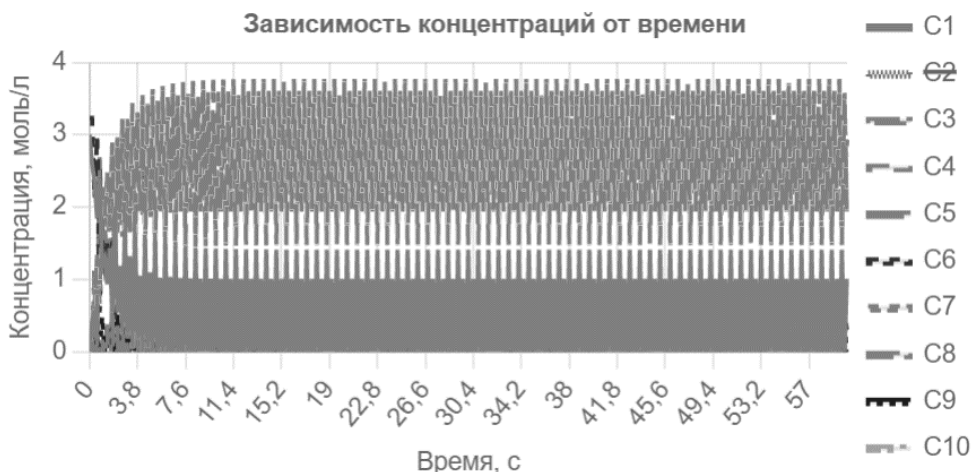


Рисунок 4 – Решение явным методом Эйлера при $t = 60$ с, $h = 0,2$ с.

Решение методом Эйлера с таким шагом было получено, однако оно являлось расходящимся (рисунок 4). Было проведено также решение неявным методом и методами большего порядка, но оно также оставалось расходящимся. В результате при повышении порядка точности методов наилучшие результаты вновь показали метод Рунге-Кутты-Мерсона и Рунге-Кутты-Фельберга (рисунок 3(б)). Однако в данном случае, метод Рунге-Кутты-Фельберга с перерасчетом шага задействовал на 10% меньше точек разбиения.

На четвертом этапе (таблица 1, строка 14), для которого длительность по времени была задана $t = 30$ секунд и размер шага по времени $h = 0,01$ секунд. По ходу эксперимента можно сказать, что при выборе очень малого шага, погрешность вычислений всеми методами крайне мала и порядок метода не оказывает такую большую зависимость, как при расчете с большим шагом, так как количество точек разбиения слишком велико. Для сравнения, можно посмотреть значения, полученные методами Эйлера, который имеет первый порядок точности и метода Рунге-Кутты 4-го порядка точности (таблица 2).

Таблица 2 – Сравнение результатов расчета концентраций методами Эйлера и Рунге-Кутты 4-го порядка в четвертом эксперименте (метод Эйлера/метод Рунге-Кутты 4-го порядка)

Время, с	C_1 , моль/л	C_2 , моль/л	C_3 , моль/л	C_4 , моль/л	C_5 , моль/л	C_6 , моль/л	C_7 , моль/л	C_8 , моль/л	C_9 , моль/л	C_{10} , моль/л
0	3,007/ 3,007	16/16	0/0	0/0	0/0	3,233/ 3,233	0/0	0/0	0/0	0/0
0,2	2,641/ 2,643	15,62/ 15,62	0,124/ 0,123	0,379/ 0,378	0,379/ 0,378	2,99/ 2,99	0,228/ 0,227	0,243/ 0,243	0,011/ 0,012	0,002/ 0,002
0,4	2,227/ 2,23	15,13/ 15,13	0,112/ 0,112	0,87/ 0,868	0,87/ 0,868	2,541/ 2,543	0,578/ 0,574	0,692/ 0,69	0,066/ 0,066	0,024/ 0,025
1	1,761/ 1,765	14,53/ 14,53	0,091/ 0,091	1,47/ 1,466	1,47/ 1,466	2/ 2,004	0,932/ 0,928	1,233/ 1,229	0,146/ 0,145	0,078/ 0,078
2	1,236/ 1,239	13,93/ 13,93	0,066/ 0,066	2,07/ 2,066	2,07/ 2,066	1,443/ 1,446	1,407/ 1,404	1,79/ 1,787	0,213/ 0,213	0,085/ 0,085
4	0,757/ 0,759	13,46/ 13,46	0,042/ 0,042	2,538/ 2,536	2,538/ 2,536	0,976/ 0,978	1,917/ 0,919	2,257/ 2,255	0,239/ 0,239	0,049/ 0,049

Исходя из полученных результатов эксперимента можно сказать, что изменение шага по времени оказывает прямое влияние на устойчивость процесса и его точность. При использовании шага по времени $h = 1$ секунда не удался расчет ни одним из методов. При уменьшении шага до 0,25, 0,2 и 0,01 секунды расчёт стал возможным. При использовании большого шага по времени решение методами с малым порядком либо невозможно, либо ведет к неустойчивости и большим погрешностям. При увеличении порядка метода можно получить более точные и устойчивые значения. Однако при этом, вычислительная сложность и требования к технике возрастают. При малом шаге решение всеми методами является устойчивым и погрешность сводится к минимуму.

В результате можно сделать вывод, что выбор метода является компромиссом между точностью, устойчивостью и вычислительной сложностью.

Если необходимо проводить расчет с использованием большого шага по времени и, соответственно, малым количеством точек разбиения, то необходимо использовать методы высокого порядка и с пересчетом шага, чтобы добиться точных значений.

Если необходимо проводить расчет с использованием малого шага, и соответственно, большим количеством точек разбиения, то рекомендуется использовать методы малого порядка, такие как метод Эйлера или метод средней точки, так как они имеют значительно меньшую вычислительную сложность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровинская Е.С. Влияние количества и качества экспериментальных данных на результаты моделирования реакции алкилирования фенилацетонитрила в микроструктурном реактор / Е.С. Боровинская, Г.Н. Вениаминовна. – Санкт-Петербург: Известия СПбГТИ (ТУ), 2011. – 85–89 с.
2. Боровинская Е.С. Экспериментальные исследования и моделирование процесса жидко-фазного алкилирования фенилацетонитрила в микроструктурном реакторе / Е.С. Боровинская, В.П. Решетилковский, В.А. Холоднов, Г.Н. Вениаминовна, Л. Маммидж. – Санкт-Петербург: Известия СПбГТИ (ТУ), 2007. – 62–65 с.

Костомаров Илья Андреевич

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),
г. Санкт-Петербург
Студент кафедры системного анализа и информационных технологий
Тел.: +79117025224
E-mail: kostomarov.2001@mail.ru

Ершов Даниил Константинович

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),
г. Санкт-Петербург
Аспирант кафедры системного анализа и информационных технологий
Тел.: +79006430263
E-mail: daniilershov2015@gmail.com

УДК 681.3.063

В.С. МЕДВЕДЕВ
V.S. MEDVEDEV

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

OPTIMIZATION OF PRODUCTION PROCESSES USING AN AUTOMATED INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEM FOR ENERGY ACCOUNTING

Данная статья посвящена вопросам оптимизации производственных процессов с использованием автоматизированной информационно-измерительной системы учета электроэнергии. В условиях стремительных изменений на рынке и растущих цен на электроэнергию, энергоэффективность становится ключевым фактором успеха для компаний. В статье описываются основные преимущества и возможности использования автоматизированных систем, в том числе выявление, локализация потерь и оптимизация расходов.

Ключевые слова: оптимизация производственных процессов, автоматизированная система учета электроэнергии, энергопотребление, мониторинг энергопотребления, энергосбережение, анализ данных, контроль электроэнергии, производственные технологии.

This article focuses on the optimization of production processes using an automated information and measurement system for energy metering. Under the conditions of rapid changes in the market and rising electricity prices, energy efficiency is becoming a key success factor for companies. The article describes the main advantages and possibilities of using automated systems, including the identification, localization of losses and cost optimization.

Keywords: optimization of production processes, automated energy accounting system, energy consumption, energy monitoring, energy saving, data analysis, energy control, production technology.

Современное производство характеризуется высоким уровнем автоматизации и использованием различных технологий, которые потребляют большие объемы электроэнергии. В связи с этим, эффективный учет и контроль электроэнергии является важным аспектом управления производственными процессами. В данной статье мы рассмотрим возможности оптимизации производственных процессов с использованием автоматизированной системы учета электроэнергии.

Оптимизация производственных процессов является ключевым элементом повышения эффективности и конкурентоспособности любой компании. Это процесс поиска и внедрения наиболее эффективных методов и технологий, которые могут помочь увеличить производительность, снизить затраты и повысить качество продукции.

Первый шаг к оптимизации производственных процессов - это детальный анализ текущих методов и технологий. Необходимо проанализировать каждый этап производства, начиная с закупки сырья до готовой продукции. Анализ позволит выявить сильные и слабые стороны процесса, определить области, требующие улучшения и разработать план действий.

После анализа производственных процессов, необходимо стандартизировать все этапы производства. Стандартизация позволит минимизировать ошибки и повысить эффективность производственных процессов. Важно разработать инструкции по каждому этапу производства и обучить персонал, как правильно их выполнять.

Технологические инновации играют важную роль в оптимизации производственных процессов. Новые технологии могут значительно улучшить качество продукции, сократить время производства и уменьшить затраты. Важно следить за новинками и адаптировать их к собственным производственным процессам.

Управление запасами является важной частью оптимизации производственных процессов. Необходимо учитывать, какой уровень запасов требуется для бесперебойной работы производства, и какие ресурсы могут быть сэкономлены, сократив количество запасов. Важно настроить процессы закупки и сбыта продукции таким образом, чтобы минимизировать затраты на хранение запасов. Одним из ключевых аспектов оптимизации производственных процессов является учет и контроль электроэнергии. В данном контексте электроэнергия является одним из основных ресурсов, который используется на производстве. Поэтому контроль и учет электроэнергии позволяет оптимизировать расходы на энергопотребление и повысить эффективность производства.

Обучение персонала и повышение квалификации: Одним из ключевых факторов оптимизации производственных процессов является обучение персонала и повышение их квалификации. Регулярное обучение позволяет персоналу овладеть новыми навыками и знаниями, необходимыми для более эффективного выполнения своих задач. Обучение может быть связано с использованием новых технологий, улучшением навыков управления временем или развитием коммуникационных навыков в командной работе. Постоянное обучение и повышение квалификации помогают персоналу стать более компетентными и способствуют оптимизации процессов.

Внедрение системы управления качеством, такой как ISO 9001, является важным шагом к оптимизации производственных процессов. Это позволяет установить стандарты качества продукции, улучшить процессы контроля и устранения дефектов, а также повысить удовлетворенность клиентов. Система управления качеством помогает организации следить за соответствием продукции требованиям, улучшать производственные процессы и предотвращать возникновение проблем.

Применение Lean-подхода: Lean-подход - это методология управления, которая направлена на эффективное использование ресурсов и устранение избыточности и потерь в производственных процессах. Она включает в себя такие принципы, как устранение излишков, оптимизация потока работы, улучшение качества и снижение времени производства. Применение Lean-подхода помогает улучшить производительность, устранить избыточность и повысить гибкость производства.

Контроль и анализ результатов: Оптимизация производственных процессов - это непрерывный процесс, требующий постоянного контроля и анализа результатов. Необходимо установить метрики производительности и регулярно отслеживать их. Это позволит выявить слабые места и проблемные области, которые требуют дальнейшей оптимизации.

Системы автоматизированного контроля электроэнергии являются частью информационных технологий в промышленности. Эти системы включают в себя различные датчики и измерительные устройства, которые собирают данные о потреблении электроэнергии в реальном времени и передают их на центральный сервер для дальнейшей обработки и анализа. С помощью систем автоматизированного контроля электроэнергии предприятия могут получать ценную информацию о своем энергопотреблении и оптимизировать производственные процессы, что позволяет сократить издержки на энергопотребление и увеличить эффективность производства. Более того, данные, собранные с помощью систем автоматизированного контроля электроэнергии, могут быть интегрированы с другими системами управления производством, такими как системы управления производственными линиями, контроля качества и т.д., что позволяет руководству предприятия получать единый обзор на всю производственную деятельность.

Одним из преимуществ автоматизированных систем учета электроэнергии является возможность мониторинга энергопотребления в режиме реального времени. Это позволяет оперативно реагировать на изменения в производственных процессах и принимать меры для улучшения эффективности потребления электроэнергии. Кроме того, автоматизированные системы учета электроэнергии могут использоваться для оптимизации расходов на энергопотребление. Например, система может определять периоды пикового потребления электроэнергии и предлагать меры для снижения нагрузки в эти периоды, что может привести к существенной экономии затрат на энергопотребление.

Например, компания Schneider Electric реализовала проект по установке системы учета электроэнергии на производственных линиях автозавода в Индии. Система позволяет точно измерять и анализировать энергопотребление производственных линий, выявлять проблемные зоны и

оптимизировать работу оборудования. В результате было достигнуто сокращение затрат на электроэнергию на 30% за год.

Еще один пример успешной реализации системы учета электроэнергии на производстве - это проект компании АВВ в России. В рамках проекта по оптимизации производственных процессов была внедрена автоматизированная система учета электроэнергии, которая позволила снизить расходы на энергопотребление на 20%. Система позволила оперативно контролировать потребление электроэнергии на производстве и выявить несколько проблемных участков, где происходили потери электроэнергии. С помощью алгоритмов анализа данных были определены причины потерь электроэнергии, после чего были приняты меры для их устранения. Кроме того, система позволила оптимизировать расходы на энергопотребление путем использования энергосберегающих технологий и снижения нагрузки в периоды пикового потребления электроэнергии.

Оптимизация производственных процессов с использованием автоматизированной системы учета электроэнергии является эффективным инструментом для снижения расходов на энергопотребление и повышения эффективности производства. АИИС помогает выявить потенциал для оптимизации энергопотребления. Анализ данных, полученных от системы учета электроэнергии, позволяет выявить энергозатратные участки и процессы, а также идентифицировать возможности для сокращения энергопотребления и повышения энергоэффективности. Это позволяет компаниям принимать целенаправленные меры по оптимизации производственных процессов и снижению затрат на электроэнергию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов, А. А., Глазунова, А. В., & Жаркова, Е. Н. (2018). Автоматизированные информационно-измерительные системы учета электроэнергии: анализ и оптимизация энергопотребления. Энергосбережение, энергетика, энергоаудит, (7), 30-35.
2. Чжан Х., Чжан С. и Рен З. (2020). Оптимальное управление энергопотреблением для энергоемких отраслей промышленности благодаря накоплению энергии и интеграции возобновляемых источников энергии. Прикладная энергия, 262, 114596.
3. «Карманный справочник по бережливому производству Six Sigma: краткое справочное руководство по 100 инструментам для повышения качества и скорости» Майкла Л. Джорджа, Джона Макси, Дэвида Роулэнса и Малкольма Аптона

Медведев Вячеслав Сергеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем
Тел.: +7-915-566-69-18
E-mail: 1685060@bsu.edu.ru

УДК 002.304

К.В. МОРТИН
K.V. MORTIN

СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛОПРОКАТА В УСЛОВИЯХ НИЗКОГО СООТНОШЕНИЯ СИГНАЛ-ШУМ

SYSTEM TECHNICAL VISION FOR DETECTING SURFACE DEFECTS IN IMAGES OF ROLLED METAL SHEETS IN CONDITIONS OF LOW SIGNAL-TO-NOISE RATIO

В статье рассматривается проблема обнаружения поверхностных дефектов типа «Продольная трещина» листового металлопроката на цифровом изображении. Автором описывается процесс разработки аппаратно-программного комплекса системы технического зрения для детектирования дефектов листового металлопроката на засвеченных и зашумленных цифровых изображениях. В статье представлены результаты исследования, проведенного с использованием лингвистических переменных правил Такаги-Сугено, которые помогли улучшить точность детектирования дефектов. Также описан аппаратный модуль микроконтроллера ESP32-CAM, который был использован в качестве основного компонента системы технического зрения. Разработанный комплекс позволяет автоматически обнаруживать и классифицировать дефекты листового металлопроката на защищенных цифровых изображениях, что может быть полезно для промышленных предприятий, занимающихся производством и обработкой металлопроката.

Для более детальной оценки результатов была использована матрица ошибок. Эта матрица позволяет определить количество верно и неверно классифицированных дефектов. Результаты показали, что разработанный комплекс имеет высокую точность в классификации дефектов, что подтверждает эффективность использования лингвистических переменных правил Такаги-Сугено и аппаратного модуля микроконтроллера ESP32-CAM.

Ключевые слова: нечеткое множество дефекта, правила Такаги-Сугено, детектирование дефектов, листовой металлопрокат, засвеченные изображения.

The article deals with the problem of detecting surface defects of the type «Longitudinal crack» of rolled sheet metal on digital images. The author describes the process of developing a hardware-software complex of the vision system for detecting defects in sheet metal rolled products on obscured and noisy digital images. The paper presents the results of the research conducted using linguistic variables of Takagi-Sugeno rules, which helped improve the accuracy of defect detection. The hardware module of the ESP32-CAM microcontroller, which was used as the main component of the vision system, is also described. The developed complex allows you to automatically detect and classify sheet metal defects in protected digital images, which can be useful for industrial companies involved in the production and processing of rolled metal products.

An error matrix was used to evaluate the results in more detail. This matrix allows us to determine the number of correctly and incorrectly classified defects. The results showed that the developed complex has high accuracy in defect classification, which confirms the effectiveness of using the linguistic variables of Takagi-Sugeno rules and the hardware module of the ESP32-CAM microcontroller.

Keywords: fuzzy defect set, Takagi-Sugeno rules, defect detection, sheet metal products, illuminated images.

На металлургических предприятиях страны остро стоит вопрос о выпуске листового металлопроката без существенных дефектов или с оптимальными параметрами допуска без отбраковки [1]. На таких предприятиях создаются отделы или лаборатории по техническому зрению.

Цель таких лабораторий - исследовать цифровые изображения листового металлопроката с различными видами поверхностных дефектов [2,3,5-7], своевременно их обнаружить и принять соответствующие мероприятия по ликвидации или минимизации их возникновения.

На предприятиях уже известны следующие подходы к обнаружению дефектов на листовом металлопрокате на основе фильтра Габора [8,9-11], использования вейвлет-преобразований [12], систем нечеткой логики [13], различных методов сегментации [14] и бинаризации [15], алгоритмов адаптивного усиления [16] алгоритмов Виолы-Джонса [17].

Рассмотренные методы обработки цифровых изображений, применяемые для обнаружения дефектов на листовом металлопрокате, показывают быструю обработку изображений. Но их применение к дефектам листового металлопроката имеет ряд недостатков:

- ограниченность функциональных возможностей и недостаточная эффективность при выделении контура дефекта из-за загрязнения исследуемой области на изображении;

- сглаживание изображения дефекта с помощью медианной фильтрации приводит к устранению границ дефекта и его зашумлению;

- яркость фона изображения листового металлопроката занимает максимально допустимый диапазон, а яркость самого дефекта и его важных участков занимает узкий диапазон, что как следствие, ухудшает контраст всего исследуемого изображения.

Поэтому, существует необходимость в разработке методов улучшения распознавания дефектов на изображениях листового металлопроката, что порождает необходимость выполнения локальных преобразований исследуемых изображений путем применения нечеткой логики для детектирования дефекта.

Основная часть

Получение дефектоскопических изображений в заводских условиях сопровождается факторами, которые приводят к ухудшению изображений. Для того чтобы изображения, полученные оптическими методами, были приемлемы для дальнейшего исследования, необходимо к ним применить методы предварительного улучшения, которые описаны выше. По отдельности данные методы справляются с локальной задачей идентификации или поиска краев точек объекта по гистограммному анализу.

Представим дефект в виде лингвистических переменных через схему Такаги-Сугено [18-19]. На первом шаге воспользуемся правилами Мамдани [19]:

Лингвистическая переменная [31-33] есть кортеж $\langle \beta, T, X, G, M \rangle$, где:

β — имя лингвистической переменной;

T — множество её значений (термов);

X — универсум нечетких переменных;

G — синтаксическая процедура образования новых термов;

M — семантическая процедура, формирующая нечеткие множества для каждого термина данной лингвистической переменной.

Тогда описание дефекта типа «Продольная трещина» примет следующий вид:

β — дефект «продольная трещина»;

$T = \{ \langle \text{«Дефект есть (D}_y\text{)»}, \langle \text{«Дефекта нет (D}_n\text{)»}, \langle \text{«Дефект есть в малой степени (D}_s\text{)»}, \langle \text{«Дефекта принадлежит в значительной степени (D}_p\text{)»} \rangle \}$;

Особенностью этой функции является бинарный характер ее значений - 1 или 0.

$X = [0; 255]$; -Яркость полутонового изображения

G — процедура образования новых термов при помощи логических связок и модификаторов.

M — процедура задания на универсуме $X=[0; 255]$ значений лингвистической переменной, т.е. термов из множества T .

Степень срабатывания будет вычисляться следующим образом:

IF (β_1 IS α_1) AND (β_2 IS α_2) AND (β_3 IS α_3) THEN (β_4 IS α_4).

1) IF (D_y) THEN (Дефект обнаружен).

2) IF (D_n) THEN (Дефект отсутствует).

3) IF (D_y) AND (D_p) THEN (Дефект обнаружен).

4) IF (D_n) AND (D_s) THEN (Дефект отсутствует).

Вторым шагом будет строится система нечеткой логики, основанная на правилах Тагаки-Сугено и имеющая следующий вид:

Система лингвистических переменных $T = \{ \text{«Дефект есть (D}_y\text{)»}, \text{«Дефекта нет (D}_n\text{)»}, \text{«Дефект есть в малой степени (D}_s\text{)»}, \text{«Дефект принадлежит в значительной степени (D}_p\text{)»} \};$

R_1 : если $x (D_y)$ то Дефект есть

R_2 : если $x (D_n)$ то Дефекта нет

R_3 : если $x (D_s)$ то Дефект есть в малой степени

R_4 : если $x (D_p)$ то Дефект принадлежит в значительной степени

$$x \in X = [0, 255]$$

$$y(x) = \frac{\mu_1(x)f_1(x) + \mu_2(x)f_2(x) + \mu_3(x)f_3(x) + \mu_4(x)f_4(x)}{\mu_1(x) + \mu_2(x) + \mu_3(x) + \mu_4(x)}$$

$$= \widetilde{\mu}_1(x) * (\text{Дефект есть}) + \widetilde{\mu}_2(x) * (\text{Дефекта нет}) + \widetilde{\mu}_3(x) * (\text{Дефект есть в малой степени}) + \widetilde{\mu}_4(x) * (\text{Дефект принадлежит в значительной степени})$$

$$\mu_i = \frac{\mu_i(x)}{\mu_1(x) + \mu_2(x) + \mu_3(x) + \mu_4(x)}$$

где $\mu_1(x), \mu_2(x), \mu_3(x), \mu_4(x)$ – функции принадлежности нечетких множеств, формализующих термины «Дефект есть», «Дефекта нет», «Дефект есть в малой степени», «Дефект принадлежит в значительной степени». Выходные значения получаются четкими и отсутствует дефаззификация, так как используются правила Такаги -Сугено. За счет одновременного срабатывания нескольких правил Такаги -Сугено, даже в линейными выходными зависимостями, способна аппроксимировать нелинейные системы.

Данный подход позволит проанализировать найденный дефект и его геометрические признаки. Производственные факторы создают помехи как на оптике, так и на самих полученных дефектоскопических изображениях. Чтобы избавиться от этих артефактов на полученных изображениях, необходимо применить алгоритмы улучшения цифровых изображений, основанных на фильтрации и сегментации.

Для получения дефектоскопических изображений листового металлопроката на предприятиях используются камеры или массивы камер, физически расположенные над линией проката. Полученные изображения с камеры попадают на преобразователь и приемопередатчик, далее на систему для определения и распознавания дефекта листового металлопроката.

На рисунке 1 представлена схема микроконтроллера.



Рисунок 1 – Структурная схема микроконтроллера ESP32-CAM

На рисунке 2 представлен микроконтроллер с отладочной платой и камерой.



Рисунок 2 – Микроконтроллер с отладочной платой и камерой

Для управления камерой микроконтроллера, разрабатывалась подсистема управления с взаимосвязью аппаратного комплекса с программным обеспечением реализованных алгоритмов технического зрения с управлением через web-сервером, как показано на рисунке 3.

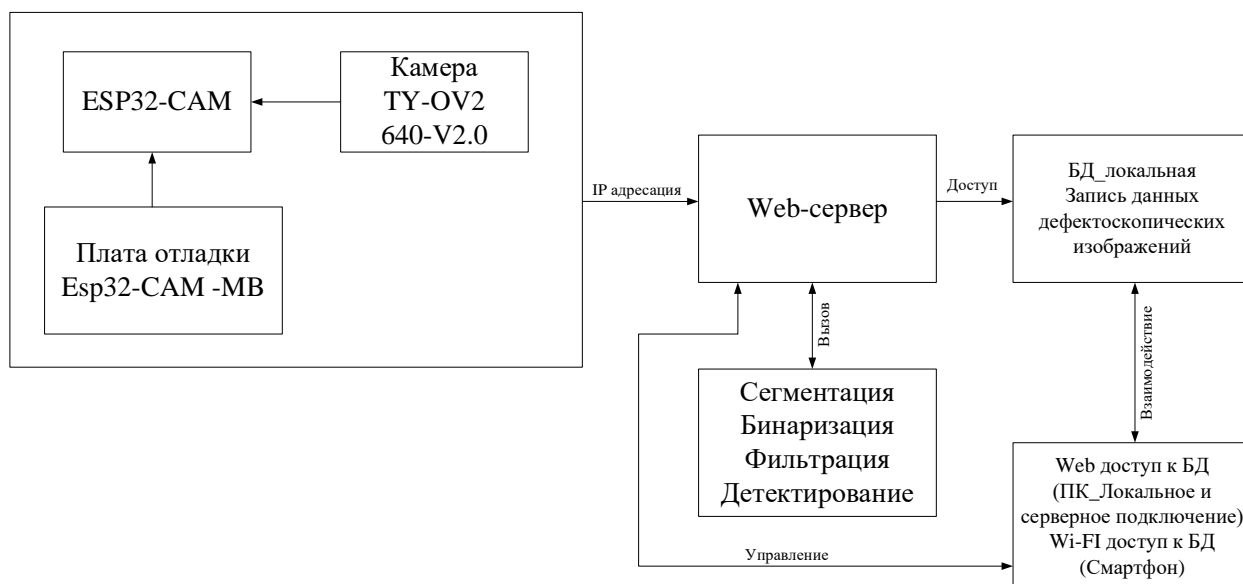


Рисунок 3 – Система управления микроконтроллером

На серверной части работает дерево алгоритмов, проводящих усредненную фильтрацию, локализацию и детектирование найденного дефекта на засвеченном и зашумленном изображении, а полученный результат отправляется в базу данных.

Алгоритм усредненной фильтрации работает по следующему принципу: на выходе функции получается отфильтрованное дефектоскопическое изображение с цветовыми градиентами и мелкозер-

нистой текстурой фона. На каждом пикселе (x, y) входного дефектоскопического изображения функция выполняет итерации среднего смещения, то есть рассматривается окрестность пикселя (x, y) :

$$(x, y): X - sp \leq x \leq X + sp, Y - sp \leq y \leq Y + sp, \|(R, G, B) - (r, g, b)\| \leq sr,$$

где sp – радиус пространственного окна, sr – радиус цветового окна, $(R, G, B) - (r, g, b)$ – векторы цветовых компонентов в (X, Y) и (x, y) соответственно. По окрестностям находятся среднее пространственное значение (X', Y') и средний вектор цвета (R', G', B') , которые действуют как центр окрестностей на следующей итерации:

$$(X, Y)(X', Y'), (R, G, B)(R', G', B')$$

После завершения итераций цветовые компоненты пикселя, с которого начались итерации, устанавливаются на конечное значение среднего цвета на последней итерации.

$$I(X, Y) \leq (R *, G *, B *)$$

По полученным результатам тестирования производится сравнение по коэффициенту Дайса, который определяется как удвоенная площадь пересечения А и В, деленная на сумму площадей А и В:

$$Dice = 2 * \frac{|A \cap B|}{(|A| + |B|)} = 2 * \frac{TP}{TP + FP + FN}$$

Третьим параметром вычисляется матрица ошибок.

$$\text{Точность} = TP / (TP + FP)$$

$$\text{Полнота} = TP / (TP + FN)$$

$$F = 2 \times \text{Точность} \times \text{Полнота} / (\text{Точность} + \text{Полнота})$$

Таблица 1 – Матрица ошибок сравнения аннотированного метода экспертов с действующей системой и разработанным методом

Аннотировано	Предсказано	Коэффициент Дайса	Матрица ошибок
0	0	0	TN
0	1	0	FP
1	0	0	FN
1	1	>T'	TP
1	1	<T'	FP

Нулевая гипотеза, где $T'=0.2$

Таблица 2 – Сравнение полученных результатов тестирования методов тестирования

Параметры	Используемая система	Разработанный метод
Точность	0,54	0,92
Полнота	0,67	0,89
F-мера	0,60	0,45

Заключение

Матрица ошибок позволяет оценить количество верно/неверно классифицированных дефектов типа «продольная трещина». Результаты тестирования показали, что разработанный метод детектирования дефекта типа «Продольная трещина» значительно более точен (92%), чем имеющаяся установка на линии проката (54%). Это означает, что система технического зрения с использованием микроконтроллера и разработанных алгоритмов может помочь в улучшении качества производства, снижении затрат на отбраковку продукции и повышении прибыли предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sychkov A.B. Sychkov A.B., M.A. Transformation of defects in continuous casting billets into surface defects of rolling / A.B. Sychkov, M.A. Zhigarev, A.V. Perchatkin // Metallurg. - 2006.

2. Diagnostics of objects of the oil and gas industry: textbook / [N.A. Bystrova V.M. Kushnarenko, D.I. Galkin and others] - M.: Publishing house of the Moscow State Technical University named after N.E. Bauman. - 2013. -, [13] pp.: Ill.
3. Nastin V.P., Chernov P.P., Bozhnev A.I. and others. Improving the surface quality of cold-rolled strips. 2003.№3.c.9-15
4. Analysis of the nature of surface defects in rolled metal. I and II redistributions of the laboratory of metallographic control of the Central Laboratory of Donetskstal for 2009, 2009
5. Pravosudovich V.V. and other Defects of steel ingots and rolled products: Sprav.izd. Moscow: Internet Engineering, 2006. 384s.
6. Static assessment of the quality of cold-rolled sheet / A.B. Naizabekov, V.A. Taliazan, I. Yu. Evtushenko, K.V. Manurov, A.S. Yerzhanov // Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference “Scientific and Technical Progress in Metallurgy.” - Temirtau: KGIU, 2009.
7. Medina, R. Surface Defect Detection on Rolled Steel Strips by Gabor Filters / R. Medina, F. Gayubo, L. González, D. Olmedo, J. Gómez, E. Zalama, J. Perán // VISAPP 008 – International Conference on Computer Vision Theory and Applications. – 2008. – p. 479-485
8. Franklin S.W., Rajan S.E.: Retinal vessel segmentation employing ANN technique by Gabor and moment invariants-based features. Applied Soft Computing, 22, 94-100 (2014)
9. De A., Guo Ch.: An adaptive vector quantization approach for image segmentation based on SOM network. Neurocomputing, 149, 48-58 (2015)
10. He, F., Liu, Y., Zhu, X., et al.: Multiple local feature representations and their fusion based on an SVR model for iris recognition using optimized Gabor filters. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2014:95 (June 2014)
11. Bugaev, D.P. Development of an automated process control system for a rolling mill based on the detection of metal surface defects by the method of wavelet transformations of video images / D.P. Bugaev, N.A. Soloviev // Special issue of the journal «Izvestia of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences». - 2009. - P.180-184
12. Zapata, J. An Adaptive network based fuzzy inference system for classification of welding defects / R. Vilar, R. Ruiz // International. – 2010. –№ 43, pp.191-199.
13. Girshick R., Donahue J., Darrell T., Malik J. Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. 2014: 580-587. DOI: 10.1109/CVPR.2014.81.
14. Mahmoudi, A. Welding Defect Detection by Segmentation of Radiographic Images / F. Re-gragui // IEEE Conference on World Congress on Computer Science and Information Engineering – 2009. – pp. 111-115.
15. Butenko, V. V. Search for objects in the image using the adaptive amplification algorithm / V. V. Butenko // Young scientist. - 2015. - No. 4. - S. 52–56.
16. Artemov A.A. The problem of finding objects in images using computer vision based on color information / A. A. Artemov, M. V. Kavalero, G. S. Kuznetsov // Bulletin of PNRPU. Electrical engineering, information technology, control systems. - 2011. - No. 5.
17. N. Xiong and L. Litz, "Identifying Flexible Structured Premises for Mining Concise Fuzzy Knowledge", Interpretability Issues in Fuzzy Modeling, Eds.: J. Casillas et al., pp. 54-76, 2003
18. Juzzy Wagner, C. A java based toolkit for type-2 fuzzy logic. In Proceedings of the 013 IEEE Symposium on Advances in Type-2 Fuzzy Logic Systems, Singapore, 16–19 April 2013.
19. M. Sugeno, T. Yasukawa, A fuzzy-logic-based approach to qualitative modeling, IEEE Trans. Fuzzy Systems 1 (1) (1993) 35 7–31

Мортин Константин Владимирович

Центр исследовательских лабораторий ИТЦ
АО «Выксунский металлургический завод»
Ведущий специалист по компьютерному зрению
Тел.: +7(904) 956-01-45
E-mail: mortinkv@ya.ru

УДК 51-74

А.А. ОЧИРОВА, Д.К. ЕРШОВ
A.A. OCHIROVA, D.K. ERSHOV**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МОРРИСА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЕЙ****APPLICATION OF THE MORRIS METHOD TO ESTIMATE THE SENSITIVITY OF MODEL PARAMETERS**

В данной статье рассмотрено применение метода Морриса для оценки чувствительности параметров моделей

Ключевые слова: анализ чувствительности, метод Морриса, элементарный эффект

In this paper, show the application of the Morris method to estimate the sensitivity of model parameters.

Keywords: sensitivity analysis, Morris's method, elementary effect

Математические модели часто имеют сложную структуру, и, как следствие, взаимное влияние параметров друг на друга и на выход модели, что требует дополнительного исследования. Довольно часто некоторые входы модели могут быть подвержены источникам неопределенности, включая ошибки измерения, отсутствие информации и плохое или частичное понимание движущих сил. Эта неопределенность накладывает ограничение на значения на выходе модели.

Анализом чувствительности называют оценку влияния входных параметров модели на ее выход. Существует множество различных методов для анализа чувствительности, которые сводятся к двум большим группам: локальные методы и глобальные методы. Глобальные, или стохастические методы анализа чувствительности, учитывают влияние параметров, одновременно изменяющихся в некотором диапазоне значений [1]. Мерой чувствительности, следующей из такого глобального метода, является усредненное влияние неопределенностей. В данном определении глобальные и стохастические методы являются взаимозаменяемыми, а также упор сделан на одновременный анализ многих параметров, безотносительно к тому, в каком диапазоне, малом или большом, они изменяются.

Если проблема заключается в отборе нескольких важных входных параметров среди большого числа, содержащихся в модели, то целесообразно использовать скрининговые методы, которые относятся к глобальным методам. В целом, скрининговые методы являются более эффективными, когда число важных параметров в модели невелико по сравнению с общим числом параметров в модели. Другими словами, они работают лучше в случае, когда влияние параметров в модели распределены по закону Парето, т.е. с небольшим количеством наиболее влиятельных параметров и большинством невлиятельных. Существуют такие скрининговые методы, как: метод Морриса, основанный на элементарных эффектах; метод Коттера, основанный на строгих предположениях и не работает, если эти предположения не выполняются; итерационный дробный факторный метод, предложенный Андресом и Хаджасом, основанный на идее группировки параметров и дает хорошие результаты, когда число важных параметров ограничено; последовательная бифуркация, предложенная Беттонвиллом, применимая только тогда, когда эффекты параметров имеют известные знаки, что означает, что аналитик знает, положительно или отрицательно влияет конкретный отдельный параметр на выход.

Метод Морриса — это простой, но эффективный способ отбора нескольких важных входных параметров из множества, содержащихся в модели. Моррис М. Д. предложил идею о построении двух мер чувствительности с целью определения того, какие входные параметры можно считать имеющими эффекты, которые: пренебрежимо малы, линейны и аддитивны, нелинейны, или вовлечены во взаимодействие с другими параметрами. По отношению к другим группам глобальных методов его преимущество в том, что он исследует каждый параметр в отдельности [2].

Вычисляя элементарные эффекты, в первую очередь надо получить параметры, измененные на некоторый шаг Δ . В данном методе используются траектории для вычисления равномерного изменения.

Базовое значение начальной точки изменения параметров x^* для некоторого вектора параметров X выбирается случайным образом в p -уровневой сетке некоторого пространства Ω . x^* не является частью траектории, но используется для генерации всех точек траектории, которые получаются из x^* путем увеличения одной или более k его компонент на Δ , где k – количество компонент. Первая точка траектории, $x^{(1)}$, получается путем увеличения одной или нескольких компонент x^* на Δ , таким образом, что $x^{(1)}$ все еще находится в пространстве Ω . Вторая точка траектории, $x^{(2)}$, генерируется из x^* с условием, что она отличается от $x^{(1)}$ в своей i -й компоненте, которая была либо увеличена, либо уменьшена на Δ :

$$x^{(2)} = x^{(1)} + e_i \Delta$$

Или

$$x^{(2)} = x^{(1)} - e_i \Delta.$$

Индекс i выбирается случайным образом из набора $\{1, 2, \dots, k\}$. Третья точка выборки, $x^{(3)}$ генерируется из x^* с тем свойством: $x^{(3)}$ отличается от $x^{(2)}$ только для одной компоненты j , для любого $j = i$. Это может быть:

$$x^{(3)} = x^{(2)} + e_j \Delta$$

Или

$$x^{(3)} = x^{(2)} - e_j \Delta.$$

И так далее до $x^{(k+1)}$, который замыкает траекторию. В результате проектирования получается траектория из $k+1$ точек выборки $x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(k+1)}$ с ключевыми свойствами, что две последовательные точки отличаются только одной компонентой и что любое значение базового вектора x^* было хотя бы раз изменено на Δ . Пример траектории для $k = 3$ показан на рисунке 1.

Траектория может быть представлена в виде матрицы B^* размерности $(k+1) \times k$, строками которой являются векторы $x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(k+1)}$. Для построения B^* , первым шагом нужно выбрать матрицу B , размерность которой составляет $(k+1) \times k$, элементами которой являются 0 и 1, а ключевым свойством является то, что для каждого индекса матрицы $j, j = 1, \dots, k$. Существуют две строки B , которые отличаются друг от друга только j -й записью.

Удобным выбором для B является строго нижняя треугольная матрица из единиц:

$$B = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

Матрицу B' , для расчёта матрицы траекторий B^* получают из формулы:

$$B' = J_{k+1,k} x^* + \Delta B,$$

где $J_{k+1,k}$ – это матрица единиц размерностью $(k+1) \times k$, а x^* – выбранное базовое значение. Рандомизированная версия матрицы выборки может быть сформировано следующим образом:

$$B^* = \left(J_{k+1,k} x^* + \left(\frac{\Delta}{2} \right) [(2B - J_{k+1,k}) D^* + J_{k+1,k}] \right) P^*,$$

где D^* – это k -мерная диагональная матрица, в которой каждый элемент с равной вероятностью равен либо +1, либо -1, а P^* – это матрица $k \times k$ случайных перестановок, в которой каждая строка содержит один элемент, равный 1, все остальные равны 0, и никакие два столбца не имеют единицу в одной и той же позиции. Считая строку за строкой, P^* определяет порядок перемещения параметров; D^* определяет, будут ли параметры увеличивать или уменьшать свое значение вдоль траектории. B^* обеспечивает изменение одного параметра модели, который выбирается случайным образом [3].

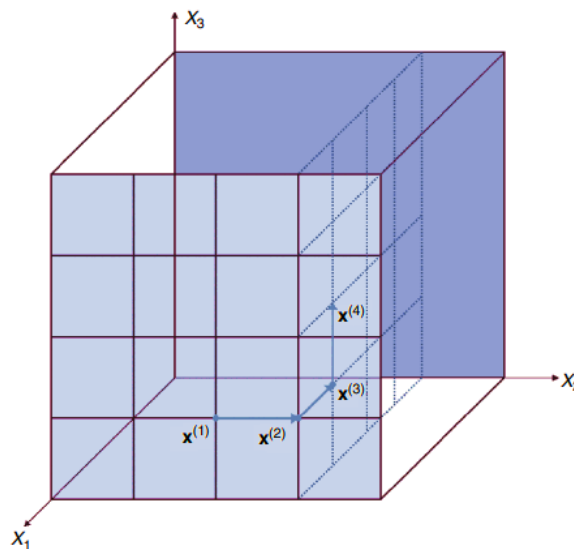


Рисунок 1 – Траектории во входном пространстве Ω при $k = 3$

Описанная выше стратегия выборки приводит к построению r траекторий в пространстве Ω . Каждая траектория соответствует $k+1$ прогону модели и позволяет вычислить элементарный эффект для каждого параметра i , для $i = 1, \dots, k$. Если $x^{(n)}$ и $x^{(n+1)}$, с n в множестве $\{1, 2, \dots, k\}$, являются двумя точками выборки j -й траектории, отличающимися друг от друга по i компоненте, то элементарный эффект, связанный с параметром i имеет вид:

$$EE_j^i(x^{(n)}) = \frac{|y(x^{(n+1)}) - y(x^{(n)})|}{\Delta} \text{ – если } i\text{-ый компонент увеличился на } \Delta$$

$$EE_j^i(x^{(n+1)}) = \frac{|y(x^{(n)}) - y(x^{(n+1)})|}{\Delta} \text{ – если } i\text{-ый компонент уменьшился на } \Delta$$

После получения r элементарных эффектов на каждый вход (EE_j^i , $i = 1, 2, \dots, k$, $j = 1, 2, \dots, r$), статистики μ_i , μ_i^* и σ_i^2 относительно распределений могут быть вычислены для каждого параметра с помощью тех же оценок, которые были бы использованы для независимых случайных выборок, поскольку r элементарных эффектов принадлежат к различным траекториям и поэтому являются независимыми:

$$\mu_i = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r EE_j^i;$$

$$\mu_i^* = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r |EE_j^i|;$$

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{r-1} \sum_{j=1}^r (EE_j^i - \mu_i)^2,$$

где EE_j^i обозначает элементарные эффекты относительно параметра i , рассчитанные вдоль траектории j ; μ_i – среднее значение, которое оценивает общее влияние параметра на результат. σ_i^2 – стандартное отклонение, которое оценивает совокупность эффектов параметра, будь то нелинейные и/или обусловленные взаимодействием с другими параметрами. Использование μ_i^* удобно, поскольку решает проблему ошибок второго типа (неспособность идентифицировать параметр со значительным влиянием на модель). На основе полученных данных можно построить графики зависимостей абсолютного среднего значения от стандартного отклонения, а также параметров от абсолютного значения (на рисунке 2 приведены примеры).

По графикам зависимостей можно делать выводы о влиянии того или иного параметра на модель. Рисунок 2а представляет результаты в виде диаграммы рассеяния, на которой по горизонтальной оси целевые (фактические) значения, а по вертикальной – значения стандартного отклонения. Высокое значение μ_i^* указывает на сильное общее влияние параметра на результат. В то же время, высокое значение σ_i^2 показывает сильную взаимосвязь эффектов параметра. Следова-

но, можно сделать вывод, что параметром X_3 можно пренебречь, однако параметр X_4 имеет большее влияние на модель, следовательно, его нельзя опускать.

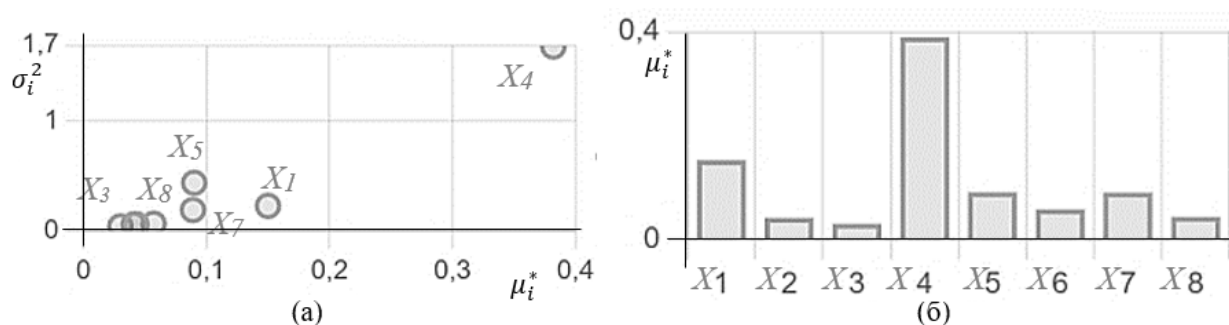


Рисунок 2 – Графики зависимостей:

а – абсолютного среднего значения (μ_i^*) от стандартного отклонения (σ_i^2); б – параметров модели (X) от абсолютного значения (μ_i^*)

На рисунке 2б указана зависимость параметров от μ_i^* . Из данного графика видно, что X_4 имеет наибольшее влияние параметра на результат.

Приведенный пример и анализ показывают, что метод Морриса позволяет не только проследить влияние параметра на модель, но и определить их приоритетность. Применение данного метода возможно в различных научных областях, например при работе с моделями, описывающими химические реакции, для определения степени влияния констант скоростей на концентрацию продукта реакции. На основе полученных данных, а также графиков зависимостей, можно сделать вывод, что наибольшее влияние на модель имеет X_4 . Из восьми параметров модели можно пренебречь тремя – X_2 , X_3 , X_8 , поскольку они особо не влияют на модель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Saltelli A., Annoni P. How to avoid a perfunctory sensitivity analysis // Environmental Modelling & Software, 2010. Vol. 25, No. 12, P. 1508 – 1517.
2. Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченова Н.В. Вычислительные методы. М.: Издат. дом МЭИ – 2008 г. - 672 с.
3. Morris M. D. Factorial sampling plans for preliminary computational experiments // Technometrics, 1991. Vol. 33, No 2, P. 161 – 174.

Очирова Алина Анатольевна

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), г. Санкт-Петербург
 Студентка кафедры системного анализа и информационных технологий
 Тел.: +7(960)-897-65-67
 E-mail: ochirova02@inbox.ru

Ершов Даниил Константинович

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), г. Санкт-Петербург
 Аспирант кафедры системного анализа и информационных технологий
 Тел.: +79006430263
 E-mail: daniilershov2015@gmail.com

УДК 303.732.4

С.А. ПЕСОЦКИЙ, С.И. МАТОРИН
S.A. PESOTSKY, S.I. MATORIN

СИСТЕМНО-ОБЪЕКТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

SYSTEM-OBJECT MODELING OF PRODUCTION PROCESSES

В данной статье авторами рассматривается вариант формально-семантического алфавита для нормативной системы системно-объектного подхода, который может быть использован для структурного моделирования производственных процессов.

Ключевые слова: классификация связей, формально-семантическая нормативная система, производственные процессы.

In this article, the authors consider a variant of the formal-semantic alphabet for the normative system of the system-object approach, which can be used for structural modeling of production processes.

Keywords: classification of links, formal-semantic normative system, production processes.

Моделирование производственных процессов является актуальной задачей, решаемой для обеспечения рациональной организации современного сложного производства, а также для обеспечения проектирования систем автоматизации производственных процессов.

Существует множество способов моделирования процессов. Одним из них является способ, основанный на системно-объектном подходе. В рамках данного подхода разрабатывается процедура моделирования систем с использованием формально-семантической нормативной системы (ФСНС), которая хорошо зарекомендовала себя при проектировании систем информационных [1, 2].

Рассмотрим возможности создания ФСНС для моделирования производственных процессов.

В основе ФСНС лежит классификация связей/потоков между моделируемыми системами, основанная на базовой классификации связей, самыми абстрактными категориями которой являются *вещество, энергия, данные и управление*. Для обеспечения моделирования материального производства предлагается расширить базовую классификацию в отношении связей вещественных и энергетических следующим образом (таблица 1).

Таблица 1 – Расширение базовой классификации связей

№	Обозначение:	Наименование:
	L	СВЯЗЬ
	M	Материальная
	V	<i>Вещественная</i>
	vt	вещественная продуктовая (преобразующаяся)
	vtm	материалы
	vtk	комплектующие
	vs	вещественная обеспечивающая (оборудование)
	vst	оборудование технологическое
	vse	оборудование энергетическое
	E	<i>Энергетическая</i>
	et	энергетическая продуктовая (преобразующаяся)
	es	энергетическая обеспечивающая

Окончание табл. 1

1	2	3
	I	Информационная
	D	<i>Данные</i>
	dd	декларативные данные
	dp	процедурные данные
	C	<i>Управление</i>
	cd	управление данными (статикой)
	cp	управление процессами (динамикой)

Данное расширение классификации связей позволяет создать элементы формально-семантического алфавита, преобразующие материальные потоки (таблица 2).

Таблица 2 – Элементы преобразования материальных потоков

ЗНАК	ФОРМАЛЬНОЕ ВЫРАЖЕНИЕ	ИНТЕРПРЕТАЦИЯ
V	$= v!f(v?)$	Преобразование вещества
E	$= e!f(e?)$	Преобразование энергии
D	$= d!f(d?)$	Преобразование данных
C	$= c!f(c?)$	Преобразование потока управления
VE	$= (v! \wedge e!)f(v? \wedge e?)$	Преобразование вещества и энергии
VD	$= (v! \wedge d!)f(v? \wedge d?)$	Преобразование вещества и данных
VC	$= (v! \wedge c!)f(v? \wedge c?)$	Преобразование вещества и потока управления
ED	$= (e! \wedge d!)f(e? \wedge d?)$	Преобразование энергии и данных
EC	$= (e! \wedge c!)f(e? \wedge c?)$	Преобразование энергии и потока управления
DC	$= (d! \wedge c!)f(d? \wedge c?)$	Преобразование данных и потока управления
VT	$= vt!f(vt?)$	Преобразование вещественного продукта
VS	$= vs!f(vs?)$	Преобразование вещественного обеспечения (оборудования)
ET	$= et!f(et?)$	Преобразование энергетического продукта
ES	$= es!f(es?)$	Преобразование обеспечивающей энергии
VTVS	$= (vt! \wedge vs!)f(vt? \wedge vs?)$	Преобразование вещественных продукта и обеспечения
VTET	$= (vt! \wedge et!)f(vt? \wedge et?)$	Преобразование вещественного и энергетического продуктов
VTES	$= (vt! \wedge es!)f(vt? \wedge es?)$	Преобразование вещественного продукта и энергетического обеспечения
VSET	$= (vs! \wedge et!)f(vs? \wedge et?)$	Преобразование вещественного обеспечения и энергетического продукта
VSES	$= (vs! \wedge es!)f(vs? \wedge es?)$	Преобразование вещественного и энергетического обеспечения
ETES	$= (et! \wedge es!)f(et? \wedge es?)$	Преобразование энергии продуктовой и обеспечивающей

Покажем с помощью инструментария структурного системно-объектного моделирования UFO-toolkit возможность представления производственных процессов с помощью алфавитных элементов преобразования материальных потоков.

Перенесенная в UFO-toolkit уточненная классификация связей (рисунок 1).

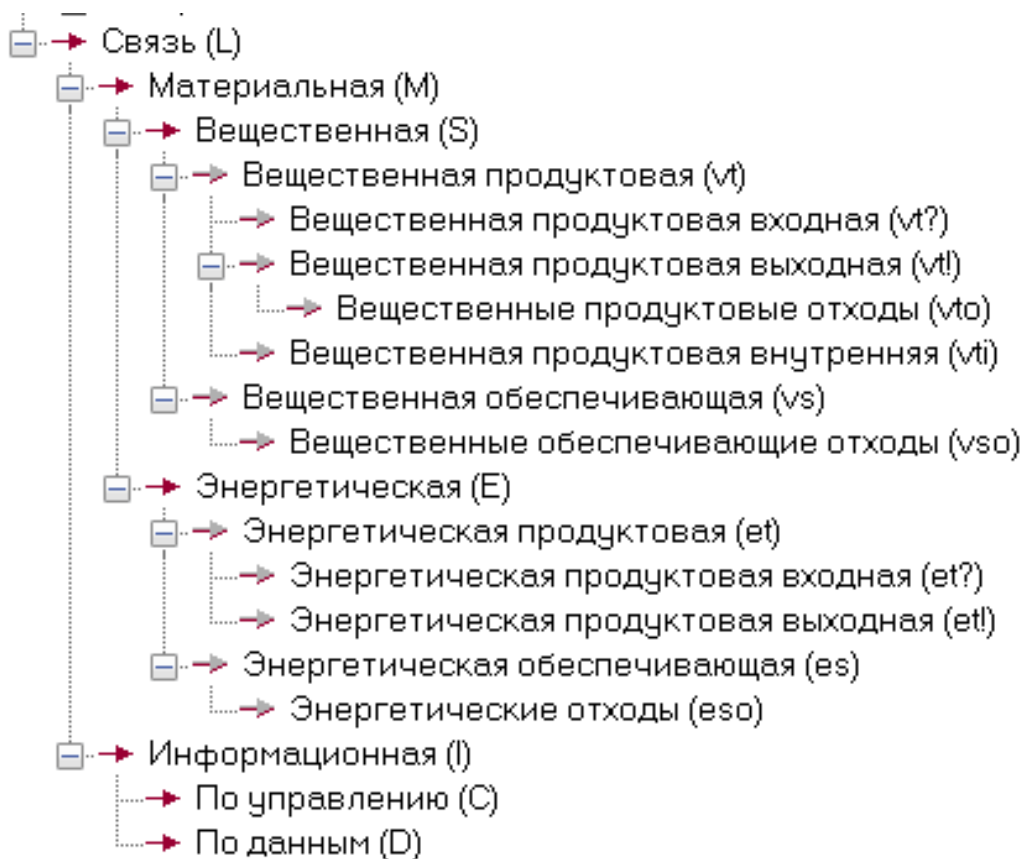


Рисунок 1 – Классификация связей UFO-toolkit

Анализ производственной деятельности показывает, что на некотором уровне абстракции с учетом предлагаемой в данной работе классификации связей участок материального производства на контекстном уровне можно представить в виде диаграммы, показанной ниже (рисунок 2).

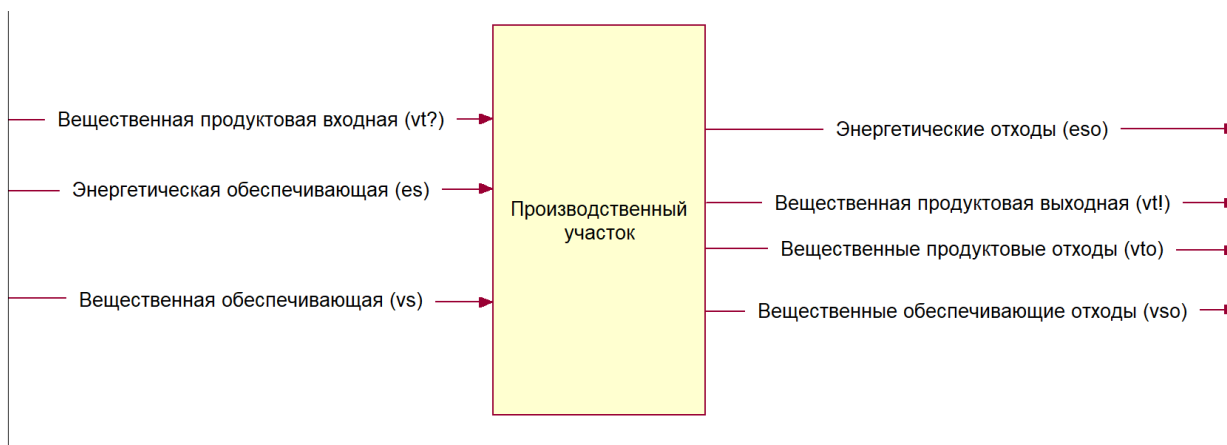


Рисунок 2 – Контекстная диаграмма производственного участка

Диаграмма декомпозиции, таким образом, может быть представлена в виде двух взаимодействующих алфавитных элементов ФСНС (рисунок 3).

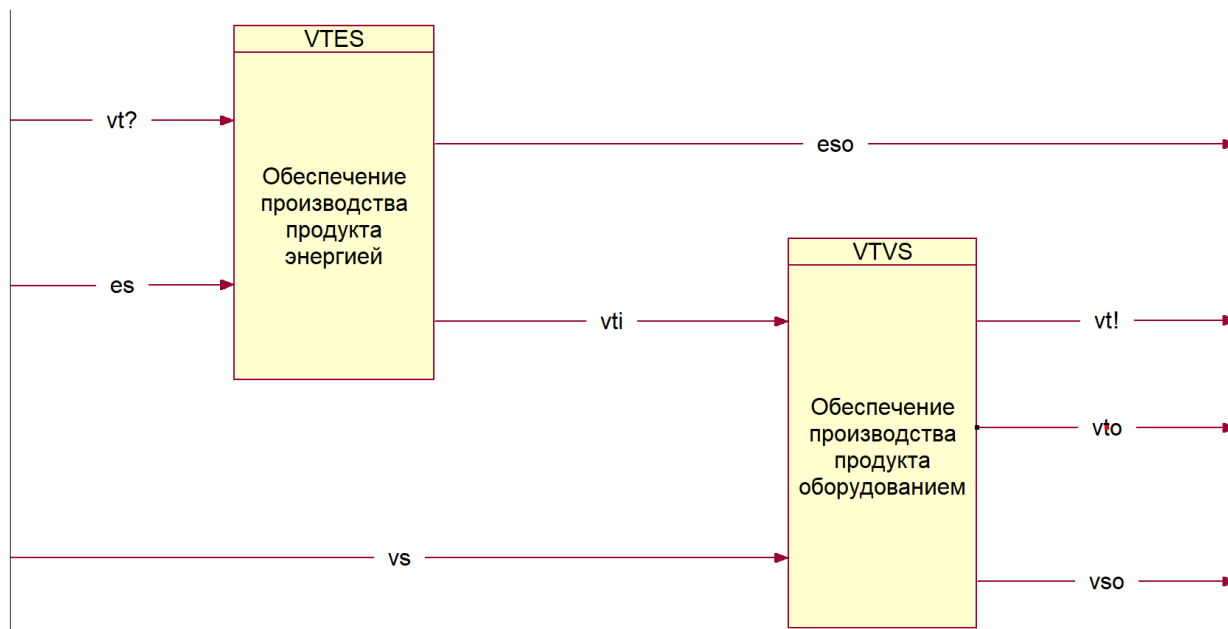


Рисунок 3 – Диаграмма декомпозиции производственного участка

Таким образом, можно утверждать, что применение ФСНС для моделирования процессов материального производства перспективно. Однако, его эффективность, очевидно, зависит от качества и детальности классификации связей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михелёв В.В., Маторин С.И., Жихарев А.Г. Нормативная система системно-объектного анализа и моделирования. Экономика. Информатика. – 2020. – Т. 47, № 3. – С. 623-637.
2. Маторин С.И., Михелёв В.В., Системно-объектный детерминантный анализ. Партитивная классификация с помощью формально семантической нормативной системы // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2022. – №2. – С. 17-26.

Песоцкий Сергей Александрович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
 Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем
 Тел.: +7(906)6030461
 E-mail: Pesotskiy@bsu.edu.ru

Маторин Сергей Игоревич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
 д.т.н., профессор кафедры информационных и робототехнических систем
 Тел.: +7(951)1559075
 E-mail: matorin@bsu.edu.ru

УДК 519.876.5

Н.Г. РЕЗНИКОВ, А.Г. ЖИХАРЕВ
N.G. REZNIKOV, A.G. ZHUKHAREV**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЦЕМЕНТНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ УФО-ПОДХОДА И ИНСТРУМЕНТАРИЯ UFO-MODELER****SIMULATION MODELING OF PRODUCTION-TECHNOLOGICAL PROCESSES IN THE CEMENT PRODUCTION USING THE UFO APPROACH AND THE UFO-MODELER TOOLKIT**

В данной работе авторами рассматриваются производственно-технологические процессы цементного производства сухого способа, а также возможности построения имитационной модели этих процессов с применением системно-объектного подхода «узел-функция-объект». Для имитационной модели цементного производства выделены основные узлы, потоковые объекты, соединяющие узлы (входные/выходные связи узла), разработаны алгоритмы функционирования и взаимодействия узлов производства сырьевой муки и усреднения ее состава перед подачей на обжиг.

Ключевые слова: производственно – технологический процесс, имитационная модель, цементное производство, потоковый объект, алгоритм функционирования узла, сырьевая мука, усредненный химический состав, вызов работы узла.

This article discusses the production and technological processes of dry cement production, as well as the possibilities of building an simulation model of these processes using the system-object approach of «node-function-object». For the simulation model of cement production, the main nodes, flow objects, connecting nodes (input/output node connections), algorithms for the functioning and interaction of production nodes of raw flour and its averaging before being fed to firing were identified.

Keywords: production – technological process, simulation model, cement production, flow object, node functioning algorithm, raw meal, averaged chemical composition, node operation call.

Производственно-технологический процесс – это серия действий, выполняемых работниками и инструментами, которые преобразуют сырье, материалы, полуфабрикаты и компоненты в готовую продукцию заданного количества, качества и в установленные сроки. Производственно-технологический процесс состоит из основных, вспомогательных и обслуживающих процессов. Основные процессы считаются технологическими процессами, которые включают изменения геометрических форм, размеров и физических и химических свойств продукции. Вспомогательные процессы обеспечивают бесперебойное протекание основных процессов. Также существуют обслуживающие процессы, связанные с обслуживанием как основных, так и вспомогательных процессов, не производящие продукцию сами по себе (хранение, транспортировка, технический контроль и т.д.).

Моделирование таких процессов помогает уменьшить время разработки технологических документов, таких как маршрутные и операционные карты, снизить стоимость проектирования и создания производственных линий, выбрать наиболее оптимальное оборудование, повысить эффективность труда за счет прогнозирования поведения системы, выбора оптимального режима протекания некоторых процессов и работы оборудования [2].

В частности, на режим протекания производственно – технологических процессов и на качество готового продукта в цементном производстве большое влияние оказывает химический состав исходных сырьевых компонентов и его постоянство. Очевидно, что исходные сырьевые компоненты природного характера происхождения, такие как известняк и глина, не обладают стабильным составом. Для компенсации этого факта на производстве прибегают к корректировке состава сырьевой смеси (смешанных воедино всех компонентов) путем изменения доли присутствия

одного или нескольких компонентов смеси, а также к усреднению как компонентов смеси, так и смеси после ее помола (сырьевой муки).

Другая особенность цементного производства – инерционность ее основных процессов [5]. Поэтому изменения, вносимые в технологические процессы, отражаются на режиме их протекания со временем, которое необходимо учитывать.

Имитационная модель описанных выше процессов и особенностей может позволить утверждать о пригодности используемого сырья, способах корректировки химического состава сырьевой муки, времени и периодичности работы оборудования.

В рамках подхода «Узел-Функция-Объект» рассмотрим цементное производство в виде узлов, которые представлены участками производства, потоковых объектов, являющихся входными и выходными связями для узлов, которые представлены материалом, подвергающимся изменениям, а также сигналами для взаимодействия или зависимости узлов. Кроме того, каждый узел может содержать функцию, описывающую работу узла и быть детализирован, то есть включать в себя вложенные узлы и потоковые объекты [3].

Графоаналитическая модель цементного производства представлена на рисунке 1.

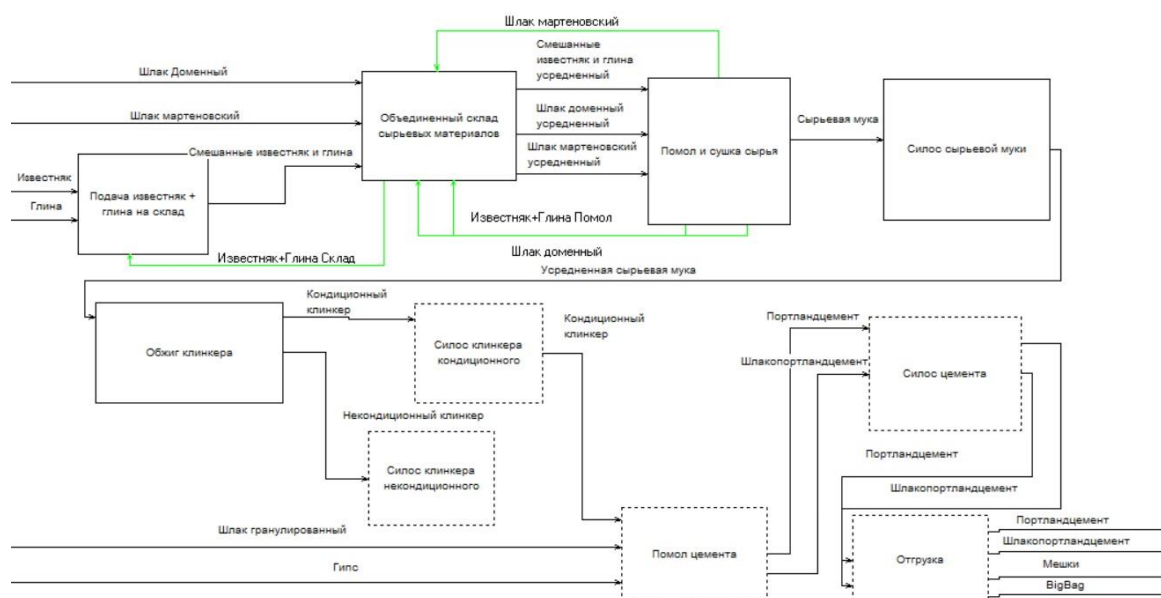


Рисунок 1 – Графоаналитическая модель цементного производства

В данном случае для производства сырьевой муки используются четыре компонента: известняк, глина, шлак доменный, шлак мартеновский. Все потоковые объекты, характеризующие сырьевые компоненты принадлежат одной группе в иерархии вложенности (наследования) типов связей, так как имеют одинаковую структуру: оксидный химический состав, влажность и массу. Помимо вещественных типов связей в иерархии представлены связи по управлению (Рисунок 2).

В объединенном складе все компоненты усредняются, путем формирования штабелей. Для каждого компонента формируется свой штабель. Перед укладкой в штабель происходит смешение известняка и глины в регулируемой пропорции.

Для имитации поступления на производство сырья с переменным химическим составом в достаточном количестве был применен алгоритм генерации псевдослучайного состава материала, описанный в работе [4] с некоторыми поправками на допустимые значения согласно информации, представленной в [1] и на учет массы генерируемых компонентов, которая ранее не рассматривалась.

Далее представлен фрагмент листинга скрипта генерации массы известняка и глины. Каждую секунду, согласно задержке, появляется материал с массой от 0 до 0,3 тонны:

```
LinkAdd('Смешанные известняк и глина.масса', random(30)/100);
mixMassa := GetLinkF('Смешанные известняк и глина.масса').
```



Рисунок 2 – Иерархия типов связи модели

Декомпозиция участка «Объединенный склад сырьевых материалов» (Рисунок 3) представлена формированием штабелей компонентов. Помимо вещественных типов связей здесь также представлены и типы связи по управлению. Они позволяют осуществлять взаимодействие узлов, таким образом, если на участок помола и сушки необходима транспортировка того или иного компонента, то в соответствующие связи передаются данные с задержкой, что имитирует транспортировку материала и наполнение бункера, вместе с этим масса штабеля уменьшается на переданную массу в другой узел.

Функция формирования штабелей каждую секунду накапливает массу, сохраняет химический состав и находит среднее арифметическое с аналогичными данными, полученными на предыдущей итерации:

```

midCaO := (midCaO + GetLinkInF('Шлак Доменный.CaO'))/count;
SetLinkOut('Шлак доменный усредненный.CaO',midCaO);
midSiO2 := (midSiO2 + GetLinkInF('Шлак Доменный.SiO2'))/count;
SetLinkOut('Шлак доменный усредненный.SiO2', midSiO2);
    
```



```

midFe2O3 := (midFe2O3 + GetLinkInF('Шлак Доменный.Fe2O3'))/count;
SetLinkOut('Шлак доменный усредненный.Fe2O3', midFe2O3);
midAl2O3 := (midAl2O3 + GetLinkInF('Шлак Доменный.Al2O3'))/count;
SetLinkOut('Шлак доменный усредненный.Al2O3', midAl2O3);
midSO3 := (midSO3 + GetLinkInF('Шлак Доменный.SO3'))/count;
SetLinkOut('Шлак доменный усредненный.SO3', midSO3);
midR2O := (midR2O + GetLinkInF('Шлак Доменный.R2O'))/count;
SetLinkOut('Шлак доменный усредненный.R2O', midR2O);
midPPP := (midPPP + GetLinkInF('Шлак Доменный.ППП'))/count;
SetLinkOut('Шлак доменный усредненный.ППП', midPPP);
midW := (midW + GetLinkInF('Шлак Доменный.W'))/count;
SetLinkOut('Шлак доменный усредненный.W', midW );
midMgO := (midMgO + GetLinkInF('Шлак Доменный.MgO'))/count;
SetLinkOut('Шлак доменный усредненный.MgO', midMgO).
  
```

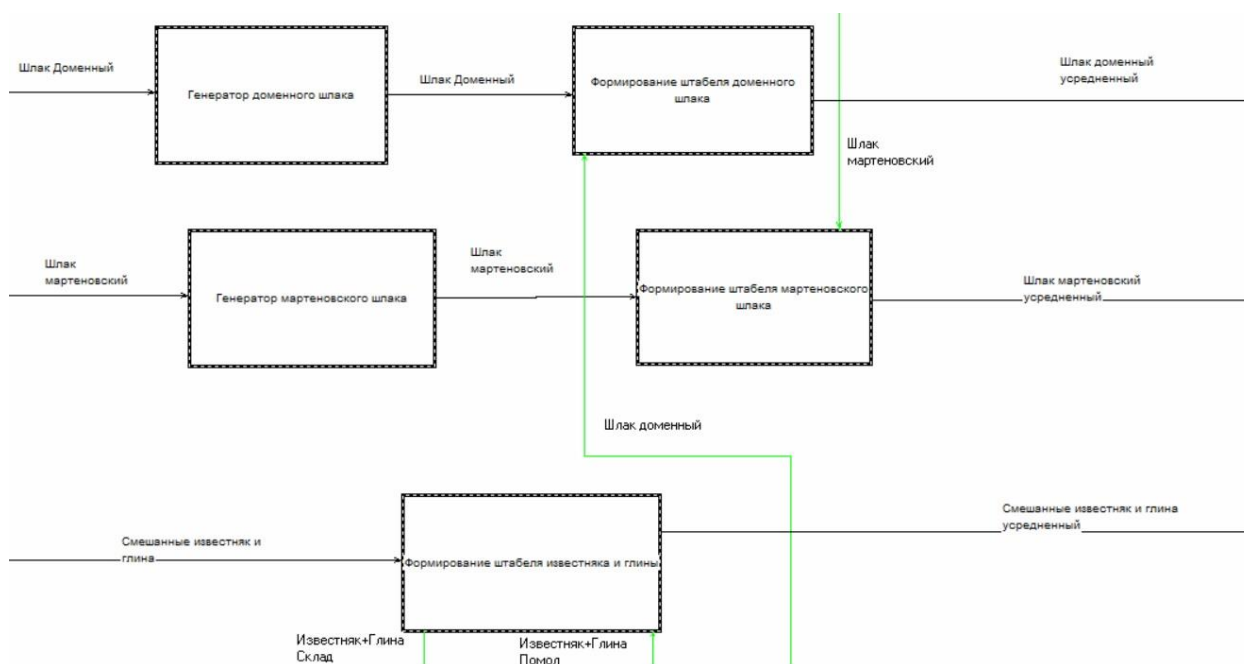


Рисунок 3 – Графоаналитическая модель декомпозиции узла «Объединенный склад сырьевых материалов»

Объект штабеля содержит константные данные, характеризующие его неизменяемые параметры. В данном случае штабель имеет параметр вместительности. Если штабель заполняется до определенного уровня, то подача материала в него приостанавливается. Также существует и нижняя граница, инициирующая подачу материала в штабель:

```

while (true) do
begin
if (Massa<0.25*value) then
begin
flag :=true;
end;
while (flag) do
begin
SetObjProp('#active', true).
  
```

В результате прогонов модели были получены такие данные, как время наполнения бункеров участка «Помол и сушка сырья» в бесперебойном режиме подачи компонентов, время формирования штабелей в бесперебойном режиме подачи компонентов, усредненный химический состав

компонентов, который позволяет судить о возможности их использования на производстве, частота инициации работы транспорта материалов при различной производительности участка «Помол и сушка сырья», что позволяет установить оптимальные значения параметров для пуска или остановки транспортирующих устройств.

В силу того, что существующий алгоритм усреднения сырьевых компонентов несовершенен, так как на реальном производстве не удается получить полное усреднение, в перспективах развития модели, помимо моделирования других участков, планируется совершенствовать алгоритм усреднения химического состава за счет использования функций распределения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дуда В. Цемент/ Пер. с нем. Е. Ш. Фельдмана: Под ред. Б. Э. Юдовича. – М.: Стройиздат, 1981. –464 с.
2. Зеленский В.А., Коннов В.П., Щодро А.И. Имитационное моделирование производственных процессов с помощью сетей Петри // Вестник СГАУ. 2012. №7 (38).
3. Маторин С.И., Жихарев А.Г., Зайцева Н.О. Системно-объектное имитационное моделирование транспортных и технологических процессов // Экономика. Информатика. 2015. №7 (204).
4. Резников, Н.Г., Жихарев А.Г. Применение системно-объектного подхода для имитационного моделирования преобразования сырьевых компонентов в портландцементный клинкер / Н.Г. Резников, А.Г. Жихарев // Научный результат. Сер. Информационные технологии. - 2021. - Т. 6, № 3. - С. 65-71.
5. Советующая интеллектуальная система управления процессом обжига цементного клинкера / М. В. Нусс, П. А. Трубаев, В. К. Классен, В. М. Коновалов. - Белгород: Белгородский государственный технологический университет, 2015. - 171 с.

Резников Никита Григорьевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет НИУ «БелГУ»
Ассистент кафедры информационных и робототехнических систем
E-mail: reznikov_n@bsu.edu.ru

Жихарев Александр Геннадиевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет НИУ «БелГУ»
Д.т.н, заведующий кафедрой автоматизированных систем и технологий
Тел.: +7(4722) 30-13-52
E-mail: reznikov_n@bsu.edu.ru

УДК 004.043

В.В. РУМБЕШТ, Е.В. БУРДАНОВА
V.V. RUMBESHT, E.V. BURDANOVA

ВЫЧИСЛЕНИЕ МОЩНОСТЕЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МНОЖЕСТВ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ

CALCULATING CAPACITIES PARAMETRIC SETS OF SEQUENCES

В данной статье авторы освещают проблемы вычислительного характера, которые требуют нахождения пусть не оптимальных, но приемлемых решений с указанием границ их применимости.

Ключевые слова: система счисления, целые числа, факториальное представление

In this article, the authors highlight computational problems that require finding, albeit not optimal, but acceptable solutions, indicating the limits of their applicability.

Keywords: number system, integers, factorial representation

При решении многих задач, используя комбинаторные объекты, возникает ряд проблем вычислительного характера, которые требуют нахождения пусть не оптимальных, но приемлемых решений с указанием границ их применимости. [1-4]

Перечислим эти проблемы.

1. Проблема представления больших чисел и организации вычислений с ними.
2. Проблема эффективного вычисления факториалов и степеней.
3. Проблема факторизации.
4. Проблема систематического перечисления комбинаторных объектов заданного вида.

Отметим специфику решения указанных проблем. Систематическое перечисление комбинаторных объектов по своей природе предполагает проведение вычислений с экспоненциальной оценкой временной сложности. Кроме этого, в настоящее время не найдены алгоритмы факторизации, имеющие полиномиальную оценку временной сложности. Поэтому, заранее предполагается, что высокое быстродействие не критично, предпочтение следует отдать решениям, обладающим простотой, универсальностью и позволяющим получать как можно большие значения мощностей. Основное стремление – получить удобный инструмент, с помощью которого возможно организовать вычислительный эксперимент с целью оценки порядков вычисляемых величин и определения верхних границ значений параметров, для которых быстродействие остается приемлемым. [5]

В программировании под большими понимают такие числа, величины которых превосходят верхнюю границу диапазона значений, представимых с использованием разрядной сетки вычислительной системы. При необходимости проведения вычислений с большими числами программист вынужден принимать решения по выбору формы представления чисел с учетом специфики решаемой задачи и экономичности использования оперативной памяти, а так же по поиску или разработке эффективных алгоритмов для реализации арифметических операций, позволяющих максимально использовать аппаратное обеспечение вычислительной системы. [6-7]

При выполнении вычислений с целыми неотрицательными числами, на современных 64-разрядных персональных компьютерах, форма представления чисел определяется системой счисления, применяемой для их записи. Среди большого количества систем счисления, использующихся в вычислительной технике [5-6], нас интересуют однородные позиционные системы с основаниями 2 и 2^m , где m равно 8, 16, 32 или 64 – длины разрядных сеток в 64-разрядных компьютерах, а так же факториальная система счисления, относящаяся к смешанным позиционным системам.

Интерес к двоичной системе и системам с основанием, равным степени двойки, обусловлен их массовым использованием и аппаратной поддержкой двоичных вычислений. В свою очередь, факториальная система интересна тем, что она удобна для порождения комбинаторных объектов.

Проведем сравнительный анализ этих форм представления по таким характеристикам, как экономичность записи, мощность представления, объем занимаемой оперативной памяти и оценки временной сложности вычисления арифметических операций. Экономичность записи определяется минимальным количеством цифр необходимых для записи конкретного числа, мощность представления задает диапазон чисел, которые могут быть записаны заданным количеством цифр, а объем оперативной памяти определяется количеством байт, необходимых для хранения закодированного представлением значения числа.

Определение 1. Вектор (b_1, \dots, b_n) назовем n -разрядным двоичным представлением целого неотрицательного числа x , если $\forall i \in \{1, \dots, n\} : 0 \leq b_i \leq 2^m - 1$ и $x = \sum_{i=1}^n b_i \cdot 2^{m \cdot (i-1)}$. Здесь $m > 0$ - показатель степени двойки в основании системы счисления. Компоненты вектора (b_1, \dots, b_n) принято называть цифрами.

Определение 1 обобщает представления чисел с использованием системы счисления по основанию 2^m . В частности, для двоичной системы имеет место $\forall i \in \{1, \dots, n\} : 0 \leq b_i \leq 1$ и $x = \sum_{i=1}^n b_i \cdot 2^{i-1}$.

Примем без доказательства утверждение о существовании и единственности двоичного представления для любого целого неотрицательного числа. И оставим без рассмотрения, построенный на методе деления на основание системы счисления, алгоритм формирования двоичного представления.

Установим минимальное количество разрядов n_{\min} , необходимых для записи числа x в позиционной системе по основанию 2^m , где $m > 0$. Очевидно, что при значении $x = 0$ величина $n_{\min} = 1$. По определению 1, для числа $x > 0$ имеет место неравенство $2^{m \cdot (n_{\min} - 1)} \leq x < 2^{m \cdot n_{\min}}$. Проведем логарифмирование по основанию 2^m : $n_{\min} - 1 \leq \log_{2^m} x < n_{\min}$. Очевидно, что

$\log_{2^m} x = \frac{\log_2 x}{\log_2 2^m} = \frac{\log_2 x}{m}$. Таким образом, $n_{\min} - 1 \leq \frac{\log_2 x}{m} < n_{\min}$, а $n_{\min} - 1$ есть наибольшее целое не превосходящее $\frac{\log_2 x}{m}$. Следовательно, если $x > 0$, то:

$$n_{\min} = \left\lfloor \frac{\log_2 x}{m} \right\rfloor + 1.$$

В частном случае, когда $m = 1$, минимальное количество разрядов для двоичного представления числа x есть:

$$n_{\min} = \begin{cases} 1, & \text{если } x = 0 \\ \lfloor \log_2 x \rfloor + 1, & \text{если } x > 0 \end{cases},$$

где $\lfloor x \rfloor$ - наибольшее целое не превосходящее x .

Верхняя граница диапазона чисел, имеющих n -разрядное двоичное представление с основанием системы счисления 2^m имеет значение $2^{m \cdot n} - 1$, а нижняя всегда равна 0.

Любые данные в оперативной памяти есть комбинация состояний упорядоченного набора бит, составляющих ту или иную ячейку. В зависимости от типа данных комбинации значений бит дается интерпретация, устанавливающая взаимно однозначное соответствие между множеством значений данных и множеством битовых комбинаций. В частности, для представления целых неотрицательных чисел, соответствующая битовая комбинация интерпретируется как запись числа в двоичной системе счисления.

При использовании однородных позиционных систем счисления с основанием не равным двум, возможно представление чисел в оперативной памяти, при котором для хранения каждой

цифры отводится отдельная ячейка базового типа, битовая комбинация которой рассматривается как запись значения соответствующей цифры в двоичной системе. В этом случае говорят о неупакованном формате хранения. Достоинством такого подхода является простота доступа к отдельным цифрам – это обращение к элементам массива ячеек базового типа по индексу, равному номеру позиции минус 1. Недостаток неупакованного формата – не рациональное использование памяти. Рациональность использования памяти зависит от того, насколько основание используемой системы счисления близко к верхней границе диапазона целых, представимых базовым типом. Идеальным случаем, с точки зрения рациональности использования памяти, является применение системы счисления с основанием 2^m , где m равно 8, 16, 32 или 64.

Для повышения рациональности использования оперативной памяти применяется так называемый упакованный формат хранения. Он предполагает, что ячейка памяти, используемая для хранения значения числа, рассматривается, как упорядоченный набор бит, разбитый на битовые поля, возможно разной разрядности, так, что каждое поле соответствует цифре записи числа в применяемой системе счисления. Битовая комбинация поля является записью значения соответствующей цифры в двоичной системе. Длины полей должны быть равны минимальному количеству бит, необходимых для записи основания системы счисления. При использовании упакованного формата усложняется доступ к отдельным цифрам. Здесь требуется применение операций побитовой обработки данных. Но, как правило, такие операции поддерживаются аппаратным обеспечением вычислительной системы.

Определим функцию количества байт, необходимых для хранения n -разрядного двоичного представления в системе по основанию 2^m в упакованном формате:

$$\text{bytes}_b(n, m) = \left\lfloor \frac{m \cdot n}{8} \right\rfloor + \begin{cases} 0, & \text{если } m \cdot n \bmod 8 = 0 \\ 1, & \text{если } m \cdot n \bmod 8 > 0 \end{cases}$$

Здесь $m \cdot n$ – минимальное количество бит для хранения двоичного представления;
 $\left\lfloor \frac{m \cdot n}{8} \right\rfloor$ – наибольшее целое число, не превосходящее количество байт, необходимых для хранения;
 $\begin{cases} 0, & \text{если } m \cdot n \bmod 8 = 0 \\ 1, & \text{если } m \cdot n \bmod 8 > 0 \end{cases}$ – слагаемое, равное 0, если количество бит кратно размеру байта, или равное 1 в противном случае.

После детального рассмотрения особенностей двоичного представления перейдем к факториальной системе.

Определение 2. Вектор (f_1, \dots, f_n) назовем n -разрядным факториальным представлением целого неотрицательного числа x , если $\forall i \in \{1, \dots, n\} : 0 \leq f_i \leq i$ и $x = \sum_{i=1}^n f_i \cdot i!$. Компоненты вектора (f_1, \dots, f_n) называют факториальными цифрами.

Как и в случае двоичного представления, примем без доказательства утверждение о существовании и единственности факториального представления для любого целого неотрицательного числа.

Рассмотрим алгоритм формирования факториального представления. В этом алгоритме применяется метод деления на основание системы счисления с учетом того, что факториальная система относится к классу позиционных систем со смешанным основанием. Ее особенность в том, что основание 1-го разряда равно 2, второго – 3, и т.д. То есть основание для текущего разряда на 1 больше предыдущего.

Метод заключается в последовательном делении с остатком исходного числа x и промежуточных частных $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ на основания системы счисления до тех пор, пока не будет получено частное x_n , равное 0. Здесь $x_1 = x \text{ div } 2$, и $x_i = x_{i-1} \text{ div } (i + 1)$ для всех i от 2 до n . Получающиеся в результате этих делений остатки представляют собой искомые компоненты факториального представления.

Покажем, как работает этот метод. По определению 2: $x = f_1 + f_2 \cdot 2! + f_3 \cdot 3! + \dots + f_n \cdot n!$. И такое представление единственно. Очевидно, что все слагаемые, кроме первого, кратны 2. По определению f_1 может принимать значения 0 или 1. Отсюда следует, что $x \bmod 2 = f_1$.

Проведем серию последовательных делений:

$$x_1 = x \operatorname{div} 2 = \frac{f_2 \cdot 2!}{2} + \frac{f_3 \cdot 3!}{2} + \dots + \frac{f_n \cdot n!}{2} = f_2 + \frac{f_3 \cdot 3!}{2} + \dots + \frac{f_n \cdot n!}{2};$$

$$x_2 = x_1 \operatorname{div} 3 = \frac{f_3 \cdot 3!}{2 \cdot 3} + \frac{f_4 \cdot 4!}{2 \cdot 3} + \dots + \frac{f_n \cdot n!}{2 \cdot 3} = f_3 + \frac{f_4 \cdot 4!}{2 \cdot 3} + \dots + \frac{f_n \cdot n!}{2 \cdot 3};$$

$$\vdots$$

$$x_{n-1} = x_{n-2} \operatorname{div} n = \frac{f_n \cdot n!}{(n-1)! \cdot n} = f_n;$$

$$x_n = x_{n-1} \operatorname{div} (n+1) = \frac{f_n}{n+1} = 0.$$

Видно, что все слагаемые, за исключением первых, кратны делителю, и эти первые слагаемые по определению не превосходят делитель. Таким образом:

$$x_1 \bmod 3 = f_2;$$

$$\vdots$$

$$x_{n-2} \bmod n = f_{n-1};$$

$$x_{n-1} \bmod (n+1) = f_n.$$

Осталось оформить это в виде алгоритма. Блок-схема алгоритма формирования факториального представления приведена на рисунке 1.

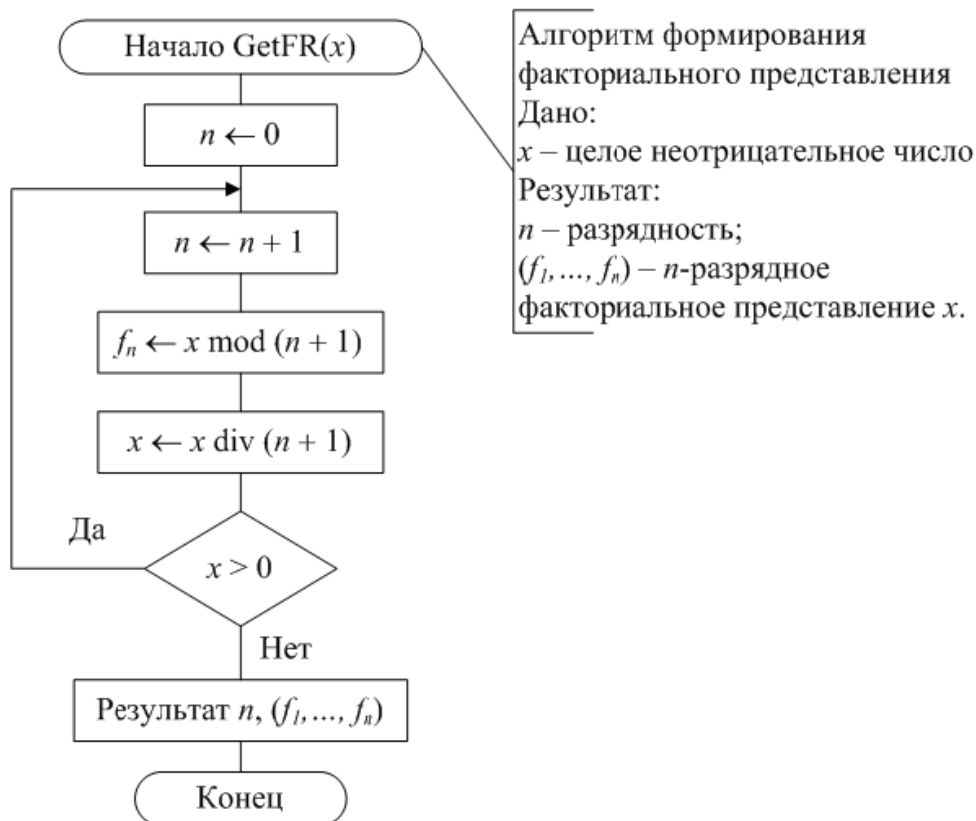


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма формирования факториального представления

Оценим время выполнения алгоритма в зависимости от величины числа x . Будем считать, что каждая из операций div и mod , а также операция сравнения x с нулем, выполняются за постоянное время. Время выполнения одной итерации цикла имеет порядок временной сложности $O(1)$. Цикл выполняется до тех пор, пока не будет сформировано факториальное представление с минимальным количеством разрядов. Установим минимальное количество разрядов n_{\min} , необходимых для факториального представления числа x .

Очевидно, что при значении $x = 0$ величина $n_{\min} = 1$. По определению 2, для числа $x > 0$ имеет место неравенство $n_{\min}! \leq x < (n_{\min} + 1)!$. Применим функцию $\text{inv}!$ к каждой части неравенства: $n_{\min} \leq \text{inv}! x < n_{\min} + 1$. Отсюда следует: если $x > 0$, то

$$n_{\min} = \lfloor \text{inv}! x \rfloor.$$

Таким образом, время выполнения алгоритма формирования факториального представления для целого неотрицательного числа x имеет асимптотическую оценку, равную $O(\text{inv}! x)$, где $\text{inv}!$ - функция, обратная к факториалу. Это позволяет отнести данный алгоритм классу алгоритмов с логарифмической временной сложностью. Диапазон чисел, имеющих n -разрядное факториальное представление, от 0 до $(n + 1)! - 1$.

Для повышения рациональности использования оперативной памяти применяется так называемый упакованный формат хранения. Он предполагает, что ячейка памяти, используемая для хранения значения числа, рассматривается, как упорядоченный набор бит, разбитый на битовые поля, возможно разной разрядности, так, что каждое поле соответствует цифре записи числа в применяемой системе счисления. Битовая комбинация поля является записью значения соответствующей цифры в двоичной системе. Длины полей должны быть равны минимальному количеству бит, необходимых для записи основания системы счисления. При использовании упакованного формата усложняется доступ к отдельным цифрам. Здесь требуется применение операций побитовой обработки данных. Но, как правило, такие операции поддерживаются аппаратным обеспечением вычислительной системы. [6-7]

$$\text{ubits}_f(n) = n \cdot (\lfloor \log_2 n \rfloor + 1)$$

$$\text{pbits}_f(n) = \sum_{i=1}^n (\lfloor \log_2 i \rfloor + 1) = n + \sum_{i=1}^n \lfloor \log_2 i \rfloor$$

$$n > 1 \quad \text{dpu}(n) = \frac{\text{ubits}_f(n) - \text{pbits}_f(n)}{n - 1}$$

$$\begin{aligned} \text{dpu}(n) &= \frac{n \cdot (\lfloor \log_2 n \rfloor + 1) - \left(n + \sum_{i=1}^n \lfloor \log_2 i \rfloor \right)}{n - 1} = \frac{n \cdot \lfloor \log_2 n \rfloor + n - n - \sum_{i=1}^{n-1} \lfloor \log_2 i \rfloor}{n - 1} = \\ &= \frac{\lfloor \log_2 n \rfloor \cdot (n - 1) - \sum_{i=1}^{n-1} \lfloor \log_2 i \rfloor}{n - 1} = \lfloor \log_2 n \rfloor - \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \lfloor \log_2 i \rfloor}{n - 1} \end{aligned}$$

Определим функцию количества байт, необходимых для хранения n -разрядного факториального представления в упакованном формате:

$$\text{bits}_f(n) = \sum_{i=1}^n (\lfloor \log_2 i \rfloor + 1) = n + \sum_{i=1}^n \lfloor \log_2 i \rfloor$$

$$\text{bytes}_f(n) = \left\lfloor \frac{\text{bits}_f(n)}{8} \right\rfloor + \begin{cases} 0, & \text{если } \text{bits}_f(n) \bmod 8 = 0 \\ 1, & \text{если } \text{bits}_f(n) \bmod 8 > 0 \end{cases}$$

Здесь $m \cdot n$ - минимальное количество бит для хранения двоичного представления;

$\left\lfloor \frac{m \cdot n}{8} \right\rfloor$ - наибольшее целое число, не превосходящее количество байт, необходимых для хранения;

$\begin{cases} 0, & \text{если } (m \cdot n \bmod 8) = 0 \\ 1, & \text{если } (m \cdot n \bmod 8) > 0 \end{cases}$ - слагаемое, равное 0, если количество бит кратно размеру байта, или равное 1 в противном случае.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Румбешт В.В., Ядута А.З. 2014. Оценка количества последовательностей, порождаемых каскадным методом. Научные ведомости БелГУ: История. Политология. Экономика. Информатика. № 21 (192): 109-117.
2. Румбешт В.В., Ядута А.З. 2015. Анализ применения конкретных групп в каскадном методе. Научные ведомости БелГУ: Экономика. Информатика. № 7 (204): 105-115.
3. Румбешт В.В. 2016. Анализ и синтез процедуры порождения кумулятивных последовательностей. Научные ведомости БелГУ: Экономика. Информатика. № 2 (223): 71-80.
4. Румбешт В.В., Бурданова Е.В. 2020. Комбинаторика упорядоченных мультипликативных разложений. Научные ведомости БелГУ: Экономика. Информатика. № 47 (1): 126 – 134.
5. Румбешт В.В., Бурданова Е.В., Ломазова В.И. 2021. Комбинаторика чисто периодических последовательностей над конечным алфавитом символов шифруемого текста. Информационные системы и технологии. № 6 (128): 5 – 13.
6. Самофалов К. Г., и др., 1987. Прикладная теория цифровых автоматов. К.: Вища шк.: 375.
7. Поляков В. И., Скорубский В. И., Экало Ю. В., 2015. Применение факториальной системы для решения комбинаторных задач. Изв. вузов. Приборостроение. Т. 58, №6: 436 - 442.

Румбешт Вадим Валерьевич

Белгородский национальный исследовательский университет, г. Белгород
к.т.н., доц., доц. каф. МиПОИС
Тел.: 301300 * 2175
E-mail: rumbesht@bsu.edu.ru

Бурданова Екатерина Васильевна

Белгородский национальный исследовательский университет, г. Белгород
к.т.н., доц. каф. МиПОИС
Тел.: 301300 * 2175
E-mail: burdanova@bsu.edu.ru

УДК 004.942

А.А. САРАНЦЕВА, Е.С. БОРОВИНСКАЯ
A.A. SARANTSEVA, E.S. BOROVINSKAYA

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ В СОБСТВЕННОЙ РЕАЛИЗАЦИИ И ИЗ БИБЛИОТЕК PYTHON ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ НА ПРИМЕРЕ ФУНКЦИИ РОЗЕНБРОКА

COMPARISON OF OPTIMIZATION METHODS IN OWN IMPLEMENTATION AND FROM PYTHON LIBRARIES FOR SOLVING INVERSE PROBLEMS ON THE EXAMPLE OF THE ROSENBROCK FUNCTION

В данной статье освещается проблема эффективности методов оптимизации в собственной реализации по сравнению с встроенными методами на примере функции Розенброка.

Ключевые слова: методы оптимизации, Метод Пауэлла, Метод Хука-Дживса, Метод наискорейшего спуска.

This paper covers the problem of the efficiency of own-implementation optimisation methods compared to embedded methods, using the Rosenbrock function as an example.

Keywords: optimization methods, Powell method, Hook-Jeeves method, Steepest descent method.

Обратные задачи – это задачи, которые требуют идентификации параметров или переменных системы на основе доступных данных. Решение обратных задач в химической кинетике имеет большое значение для понимания и оптимизации химических процессов. В основном обратные задачи возникают в тех случаях, когда необходимо определить параметры реакции на основе экспериментальных данных. Для решения таких задач используются методы оптимизации, которые позволяют находить наилучшие значения параметров реакции, минимизируя отклонение между экспериментальными и расчетными данными [1]. Цель данной работы заключается в сравнении эффективности различных методов оптимизации для их последующего использования при решении обратных задач химической кинетики. На первом этапе исследования рассматривается стандартная функция Розенброка, которая позволяет оценить производительность методов оптимизации на простой задаче [2].

Функция Розенброка – широко известная функция, часто используемая для тестирования алгоритмов оптимизации. Она представляет собой двумерную функцию, определенную на плоскости. Она имеет следующий вид:

$$f(x, y) = (a - x)^2 + b(y - x^2)^2, \quad (1)$$

где a и b – константы, обычно принимающие значения $a = 1$ и $b = 100$.

Минимум функции Розенброка находится в точке (1, 1) и равен 0. Функция Розенброка имеет узкий и длинный «овраг» с глубоким и узким локальным минимумом внутри. Этот овраг и локальный минимум представляют трудности для некоторых методов оптимизации, включая методы наискорейшего спуска и Пауэлла. Если метод попадает внутрь оврага, он может начать за цикливаться между двумя точками около локального минимума, и таким образом, не сойтись к глобальному минимуму.

Метод Хука-Дживса и некоторые другие методы могут быть более эффективными при поиске глобального минимума функции Розенброка, так как они исследуют всю область определения, а не просто следуют направлению градиента.

Для нахождения минимума функции Розенброка были реализованы три метода оптимизации: градиентный спуск, метод Пауэлла, метод Хука-Дживса. Полученные результаты оптимизации сравнивали с результатами, полученными с помощью библиотеки Python SciPy, в которой также реализованы эти методы.

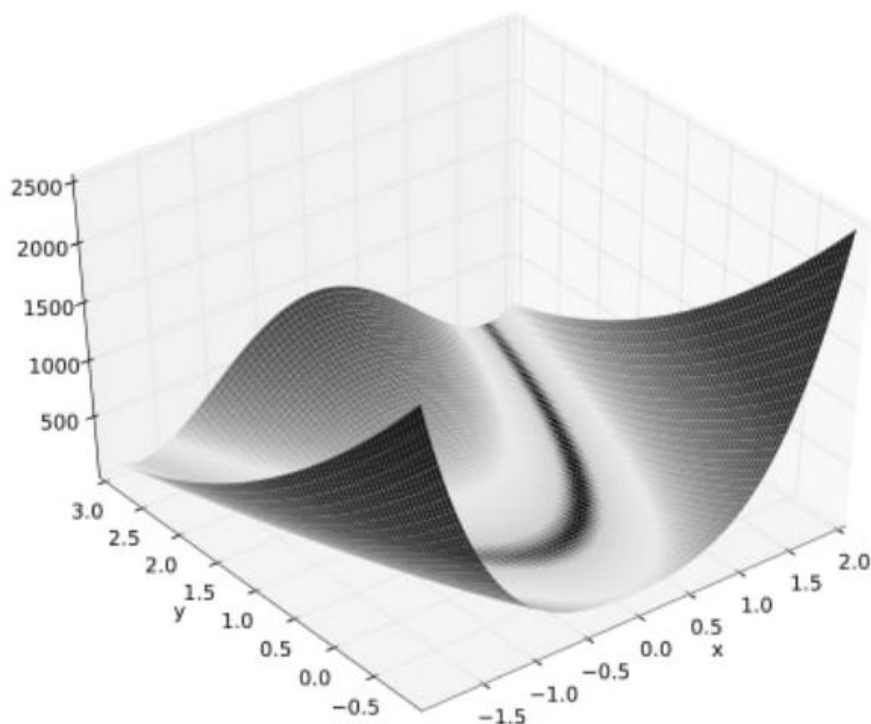


Рисунок 1 – График функции Розенброка

Метод наискорейшего спуска (англ. Gradient Descent) – это метод оптимизации, который использует направление антиградиента для поиска минимума функции. Он заключается в том, чтобы в каждой точке функции двигаться в направлении, противоположном направлению градиента, с определенным шагом (так называемым learning rate). Этот метод позволяет быстро достигнуть минимума функции, если необходимо найти локальный минимум или если локальный минимум одновременно является глобальным. Алгоритм может застрять в локальном минимуме [3].

Метод Пауэлла (англ. Powell's method) – это метод оптимизации, который использует для поиска минимума функции последовательность одномерных оптимизаций в направлениях, заданных базисными векторами. Он применяется для поиска минимума многомерной функции и не требует нахождения производных. Данный позволяет быстро определить минимум функции, если функция не имеет несколько локальных минимумов и имеет симметричную форму.

Метод Хука-Дживса (англ. Hooke-Jeeves method) – это метод оптимизации, который использует пошаговый поиск для поиска минимума функции. Поиск начинается с заданной начальной точки, на каждой итерации совершается два шага: первый шаг – исследовательский, позволяет определить лучшую точку в заданном направлении, второй шаг – поисковый, он осуществляется вокруг точки, найденной на первом шаге. Этот метод позволяет быстро сойтись к минимуму функции, если функция не имеет несколько локальных минимумов и имеет симметричную форму.

В библиотеке SciPy реализованы методы наискорейшего спуска, Пауэлла и Хука-Дживса в модуле `scipy.optimize`. В частности, для метода наискорейшего спуска используется функция `scipy.optimize.minimize()` с указанием метода CG (conjugate gradient method), для метода Пауэлла – функция `scipy.optimize.minimize()` с методом `powell`, а для метода Хука-Дживса – функция `scipy.optimize.minimize()` с методом `Nelder-Mead`. В качестве начального приближения во всех реализациях была взята точка (0;0).

В ходе работы были сформированы две таблицы с результатами применения рассмотренных алгоритмов оптимизации и сравнения их сходимости при различных критериях останова (Таблица 1-2). В таблице 1 представлены результаты вычислений при разном количестве итераций. В таблице 2 рассматриваются влияние разных критериев остановки поиска – абсолютного и относительного отклонения на результаты нахождения минимума функции. В таблицах `fmin` – минимум функции и `time` – время выполнения расчета в секундах.

Таблица 1 – Сравнение методов оптимизации по количеству итераций

Критерий останковки поиска	Кол-во итераций N = 10		Кол-во итераций N = 100		Кол-во итераций N = 1000000	
	fmin	time	fmin	time	fmin	time
Наискорейший спуск (собственная реализация)	0,995	1,088	0,952	0,903	0,001	30,045
Наискорейший спуск (SciPy)	0,048	0,751	0,000	0,633	0,000	0,649
Пауэлл (собственная реализация)	-	-	0,704	0,320	-	-
Пауэлл (SciPy)	0,001	3,963	0,000	0,758	-	-
Хука-Дживс (собственная реализация)	1,107	0,265	0,001	0,290	0,000	2,223
Хука-Дживс (SciPy)	0,948	0,720	0,000	0,686	-	-

Метод Пауэлла в собственной реализации при количестве итераций $N = 100$ находит минимум $f_{min} = 0,704$, то есть в данном случае наблюдается расхождение метода. Этот метод использует направление антиградиента, но вместо того, чтобы выбирать его направление каждую итерацию, он вычисляет матрицу, которая позволяет выбирать направления, соответствующие независимым координатам пространства переменных. Если матрица становится слишком близкой к вырожденной, метод может потерять эффективность и разойтись. Реализация из библиотеки SciPy дала лучший результат, это связано с тем, что в этой реализации метода Пауэлла используется «полное обновление» вектора шага, а не «диагональное обновление», которое используется в классическом алгоритме. Также в SciPy реализована более эффективная процедура поиска начального приближения для метода, что позволяет ускорить сходимость. Однако, при снижении количества итераций до $N = 10$ реализация с помощью библиотеки SciPy становится менее эффективной и точной.

Метод наискорейшего спуска сошелся при количестве итераций $N = 1000000$ и выдал результат $f_{min} = 0,001$ за 30,045 секунд. При критериях останковки поиска количество итераций $N = 10$ и $N = 100$, этот метод оказался неэффективен. Метод, реализованный в библиотеке SciPy оказался также более эффективным. При малом количестве итераций он является менее точным и работает медленнее, возвращая результат $f_{min} = 0,048$ за 0,751 секунды.

Метод Хука-Дживса в собственной реализации сошелся при всех критериях останковки поиска, кроме малого количества итераций $N = 10$. Также видно, что этот метод разошелся при малом количестве итераций и в реализации из библиотеки SciPy при $f_{min} = 0,948$.

Из таблицы 2 также видно, что метод Пауэлла в собственной реализации расходится, чего не происходит при использовании библиотеки SciPy. Метод наискорейшего спуска, реализованный в библиотеке SciPy сходится и время его выполнения составляет примерно 0,6 секунд. Метод Хука-Дживса сходится в обоих случаях, причем в собственной реализации он эффективнее в среднем на 0,3 секунды.

В данной работе проанализированы такие методы, как: метод наискорейшего спуска, метод Пауэлла и метод Хука-Дживса и их признаки сходимости на примере функции Розенброка. Численные эксперименты подтверждают, что метод Хука-Дживса в собственной реализации имеет самую быструю скорость сходимости для функции Розенброка. Метод Хука-Дживса из библиотеки SciPy является менее эффективным, это может быть связано с тем, что он реализован для общего случая и может быть использован для решения широкого спектра задач оптимизации. Это делает его универсальным, но также накладывает определенные ограничения на его эффективность для конкретных задач.

Выбор оптимального метода для решения обратной задачи зависит от многих факторов, таких как размерность пространства параметров, форма функции ошибок, наличие локальных экстремумов и шума в данных.

Таблица 2 – Сравнение методов оптимизации по критериям останова: абсолютное отклонение, относительное отклонение

Метод оптимизации	Критерий останова	Полученный минимум f_{min}	Время выполнения, с
Наискорейший спуск (собственная реализация)	Абсолютное отклонение $xtol = 1 \cdot 10^{-6}$	0,981	1,102
Наискорейший спуск (SciPy)	Абсолютное отклонение $xtol = 1 \cdot 10^{-6}$	0,000	0,678
Пауэлл (собственная реализация)	Абсолютное отклонение $xtol = 1 \cdot 10^{-6}$	0,704	0,278
Пауэлл (SciPy)	Абсолютное отклонение $xtol = 1 \cdot 10^{-6}$	0,000	0,658
Хука-Дживс (собственная реализация)	Абсолютное отклонение $xtol = 1 \cdot 10^{-6}$	0,001	0,326
Хука-Дживс (SciPy)	Абсолютное отклонение $xtol = 1 \cdot 10^{-6}$	0,000	0,718
Наискорейший спуск (собственная реализация)	Относительное отклонение $ftol = 1 \cdot 10^{-6}$	0,999	1,057
Наискорейший спуск (SciPy)	Относительное отклонение $ftol = 1 \cdot 10^{-6}$	0,000	0,674
Пауэлл (собственная реализация)	Относительное отклонение $ftol = 1 \cdot 10^{-6}$	0,704	0,259
Пауэлл (SciPy)	Относительное отклонение $ftol = 1 \cdot 10^{-6}$	0,000	0,753
Хука-Дживс (собственная реализация)	Относительное отклонение $ftol = 1 \cdot 10^{-6}$	0,000	0,265
Хука-Дживс (SciPy)	Относительное отклонение $ftol = 1 \cdot 10^{-6}$	0,000	0,705

Метод Пауэлла хорошо работает в случаях, когда функция ошибки гладкая и имеет несколько локальных экстремумов, но нет больших узких локальных минимумов. Он может быть эффективным для поиска глобального минимума в многомерном пространстве, если начальное приближение близко к истинному значению. Однако, если матрица, используемая методом Пауэлла, становится близкой к вырожденной, метод может потерять эффективность и разойтись.

Метод Хука-Дживса более эффективным, когда функция ошибки не гладкая и имеет несколько локальных экстремумов. Этот метод применяет пошаговый поиск, перемещаясь по пространству параметров с использованием разных шагов, что позволяет находить глобальный минимум. Однако, если пространство параметров очень большое, этот метод может оказаться слишком затратным по времени.

Метод наискорейшего спуска хорошо работает в случаях, когда функция ошибки гладкая и имеет только один локальный минимум. Он использует информацию о градиенте функции ошибок для определения направления движения. Этот метод может быть более эффективным, когда пространство параметров большое и существует только один минимум. Однако, если функция ошибок имеет несколько локальных минимумов, метод наискорейшего спуска может остановиться в локальном минимуме.

Из результатов исследования можно сделать вывод, что метод Пауэлла в собственной реализации оказался менее эффективным, чем из библиотеки SciPy, что связано с потерей эффективности при вырожденных матрицах. Метод наискорейшего спуска работал эффективно только при критерии останова $N = 1000000$, что делает его менее универсальным.

Метод Хука-Дживса, как собственная реализация, так и из библиотеки SciPy, показал стабильную работу при различных критериях останова поиска. Однако, при малом количестве итераций он может потерять эффективность и разойтись.

Также была проведена аналитическая оценка сходимости методов и исследование их времени выполнения. В целом, реализации из библиотеки SciPy показали лучшие результаты в сравнении с собственными реализациями, особенно в более сложных и многоэкстремальных задачах. Это связано с тем, что библиотеки проходят более тщательное тестирование и оптимизацию и предназначены для решения широкого спектра задач. Библиотечные методы могут использовать более сложные и эффективные алгоритмы, оптимизированные под различные типы задач и их особенности, а также содержать дополнительные функции и возможности, такие как анализ градиента, управление шагом и т.д.

Для конкретных случаев, собственная реализация методов может показывать лучшие результаты, так как предназначена для решения конкретной задачи и учитывает ее особенности. Она может быть более понятной и гибкой для пользователей, которые хотят настроить алгоритм оптимизации под свои потребности и условия. Если известны особенности задачи, то собственная реализация может работать быстрее и точнее, чем стандартные алгоритмы, предоставляемые библиотекой. В данной работе самостоятельно реализованные методы Пауэлла и Хука-Дживса работали на 60% быстрее, чем методы библиотеки SciPy.

Кроме того, собственная реализация методов может быть полезна в случаях работы с очень большими данными, которые не удается обработать с помощью стандартных методов библиотеки из-за ограничений по памяти или вычислительным ресурсам. В таких случаях, оптимизация алгоритма может помочь справиться с этими проблемами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bardsley, J. Inverse Problems: Tikhonov Theory and Algorithms / J. Bardsley. - Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 2001. - 150 с.
2. Рохлин М.Я., Катыхова А.А. Оптимизация. Теория и практика / М.Я. Рохлин, А.А. Катыхова. - М.: Издательский дом «Физико-математическая литература», 2011. - 304 с.
3. Нестеров Ю. Е. Методы выпуклой оптимизации / Ю. Е. Нестеров. - М.: Издательский дом «МЦНМО», 2010. - 304 с.

Саранцева Алина Александровна

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),
г. Санкт-Петербург
Студентка кафедры системного анализа и информационных технологий
Тел.: +7(931)-239-88-81
E-mail: alina.logan2017@yandex.ru

Боровинская Екатерина Сергеевна

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет),
г. Санкт-Петербург
Д.т.н., доцент, профессор кафедры системного анализа и информационных технологий
Тел.: +7 (812) 494-93-02
E-mail: ekaterina.borovinskaya@daad-alumni.de

УДК 550.370

Д.И. СУРЖИК, А.А. БЫКОВ, Г.С. ВАСИЛЬЕВ, О.Р. КУЗИЧКИН
D.I. SURZHİK, A.A. BYKOV, G.S. VASILYEV, O.R. KUZICHKIN**ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ СИСТЕМЫ
«ГРУНТОВОЕ ОСНОВАНИЕ – ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО –
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ»****EQUIVALENT TRANSFER FUNCTION OF THE SYSTEM
«SOIL BASE – GROUND – RAILWAY»**

В данной статье авторы освещают проблему организации автоматизированного геодинамического мониторинга компонентов железнодорожного транспортного комплекса на основе геоэлектрических методов контроля. Для определения динамических изменений объекта контроля предложено использовать анализ передаточной функции геоэлектрического разреза исследуемого участка грунтового основания земляного полотна железнодорожного пути, представленной совокупностью элементов, обладающих собственными передаточными функциями на основе модели многослойного несовершенного диэлектрика и соединяемых параллельно-последовательных связями.

Ключевые слова: геодинамический мониторинг, железнодорожный транспорт, геоэлектрика, эквивалентные схемы.

In this article, the authors highlight the problem of organizing automated geodynamic monitoring of the components of the railway transport complex based on geoelectric control methods. To determine the dynamic changes in the control object, it is proposed to use the analysis of the transfer function of the geoelectric section of the studied section of the subgrade of the subgrade of the railway track, represented by a set of elements that have their own transfer functions based on the model of a multilayer imperfect dielectric and connected by parallel-series connections.

Keywords: geodynamic monitoring, railway transport, geoelectrics, equivalent circuits.

При организации автоматизированного геодинамического мониторинга компонентов железнодорожного транспортного комплекса перспективным является применение геоэлектрических методов зондирования и контроля геологической среды. Они обеспечивают эффективную организацию наблюдений за взаимосвязанной комплексной системой «грунтовое основание – земляное полотно – железнодорожный путь», оценку состояния и прогноза ее развития, что определяется их высокой технологичностью [1-4].

Использование геоэлектрических методов позволяет определить динамические изменения физико-механических параметров объекта контроля (рисунок 1) на основании передаточной функции геоэлектрического разреза. Данную передаточную функцию можно представить комплексными соотношениями исследуемого участка грунтового основания земляного полотна железнодорожного пути [5, 6]

$$\dot{H}(j\omega, \Delta u) = \frac{\dot{Y}(j\omega)}{\dot{X}(j\omega)} = \dot{Z}_A(j\omega) + \dot{Z}_B(j\omega) + \sum_{i=1}^n \dot{Z}_i(j\omega, \Delta u), \quad (1)$$

где $\dot{Y}(j\omega)$, $\dot{X}(j\omega)$ - комплексные спектры сигналов от произвольного источника и с приемника геоэлектрического поля; ω - циклическая частота зондирующего сигнала; $\dot{Z}_A(j\omega)$, $\dot{Z}_B(j\omega)$ - сопротивления заземлений источников геоэлектрического поля A и B ; $\dot{Z}_i(j\omega, \Delta u)$ - комплексные сопротивления i -ых элементов исследуемого участка грунтового основания земляного полотна железнодорожного пути, находящегося под воздействием Δu .

Тогда модель объекта геодинамического мониторинга в виде исследуемого участка грунтового основания земляного полотна железнодорожного пути можно эквивалентно представить совокупностью элементов, обладающих собственными передаточными функциями [7] и соединяемых между собой на основе параллельно-последовательных связями.



Рисунок 1 – Эквивалентное представление системы «грунтовое основание – земляное полотно – железнодорожный путь» совокупностью передаточных функций

Представление исследуемого участка грунтового основания земляного полотна железнодорожного пути на основе передаточной функции (1) позволяет воспользоваться моделью многослойного несовершенного диэлектрика. Она содержит N элементов толщиной d с задаваемыми электрическими параметрами в виде диэлектрической проницаемости ε_i и удельного электрического сопротивления ρ_i . В этом случае передаточная функция (1) может быть представлена в виде последовательно соединенных дискретных емкостных и резистивных элементов, обладающих следующими параметрами [7]:

$$C_i = \varepsilon_i S(j\omega, \Delta u_i) / d(\Delta u_i), R_i = \rho_i d(\Delta u_i) / S(j\omega, \Delta u_i), \quad (2)$$

где $S(j\omega)$ - эффективная площадь элемента, определяемая с учетом скин-эффекта.

В результате передаточная функция геоэлектрического разреза исследуемого участка грунтового основания земляного полотна железнодорожного пути может быть выражена через электрические параметры (2):

$$\dot{H}(j\omega, \Delta u) = \sum_{i=1}^N \frac{R_i}{1 + x_i^2} - j \sum_{i=1}^N \frac{R_i x_i}{1 + x_i^2}, \quad (3)$$

где $x_i = \omega R_i C_i = \omega \varepsilon_i \rho_i$.

Полученная передаточная функция может быть использована для эффективного моделирования характеристик контролируемого участка геологической среды с желаемой точностью получаемых результатов, задаваемой числом дискретных элементов для выбранного масштаба среды.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 23-29-10126 «Интеллектуальная система контроля целостности земляного полотна железной дороги».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. André Revil, Abderrahim Jardani, Paul Sava, Allan Haas. The Seismoelectric Method: Theory and Applications. - John Wiley&Sons. – 2015.

2. Ahmed M. Youssef, Hesham M. El-Kaliouby, Yasser A. Zabramawi. Integration of remote sensing and electrical resistivity methods in sinkhole investigation in Saudi Arabia, *Journal of Applied Geophysics*. – 2012. - Pp.28-39.
3. Bykov A., Grecheneva A., Kuzichkin O., Surzhik D., Vasilyev G., Yerbayev Y. Mathematical description and laboratory study of electrophysical methods of localization of geodeformational changes during the control of the railway roadbed / *Mathematics*. -Том 9, Выпуск 24. – 2021.
4. Kuzichkin O., Grecheneva A., Bykov A., Dorofeev N., Surzhik D. Methods and algorithms of joint processing of geoelectric and seismoacoustic signals in real time / *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*. – 2018. - 18(1.1). - Pp. 877-884.
5. Vasilyev G.S., Kuzichkin O.R., Grecheneva A.V., Dorofeev N.V., Surzhik D.I. Analysis of the combined transfer functions for geotechnical control / *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*. – 2018. - 18(1.2). - Pp. 43-50.
6. Dorofeev NV, Grecheneva AV, Kuzichkin OR, Romanov RV, Surzhik DI. The method of the phase control of the electrical installation during geodynamic monitoring / *2018 2nd International Conference on Functional Materials and Chemical Engineering (ICFMCE 2018)*, series of books: MATEC Web of Conferences, Volume: 272, №01045. - 2019.
7. Kuzichkin OR, Bykov AA, Surzhik DI, Dorofeev NV, Baknin MD, Grecheneva, AV. The study of the seismoelectric method for the localization of geodeformational changes in the control of the subgrade of the railway / *PIOAB JOURNAL*, Volume: 10, Release: 5. – 2019. - Pp. 34-39.

Суржик Дмитрий Игоревич

Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром

Доцент кафедры управления и контроля в технических системах

Тел.: +7(919) 007-48-66

E-mail: arzerum@mail.ru

Быков Артем Александрович

Муромский институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», г. Муром

Доцент кафедры программной инженерии

Тел.: +7(910) 775-38-48

E-mail: bykov_a_a@list.ru

Васильев Глеб Сергеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород

Старший научный сотрудник инженерингового центра

Тел.: +7(915) 751-66-47

E-mail: vasilievgleb@yandex.ru

Кузичкин Олег Рудольфович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород

Ведущий научный сотрудник кафедры информационных и робототехнических систем

Тел.: +7(910) 171-39-45

E-mail: kuzichkin@bsu.edu.ru

УДК 550.8.05, 552.08, 552.12

В.В. ХИМУЛЯ, С.О. БАРКОВ
V.V. KHMULIA, S.O. BARKOV

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОГО АНАЛИЗА КТ-СНИМКОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ВНУТРЕННЕГО ПРОСТРАНСТВА ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩ ГАЗА

DIGITAL CT-ANALYSIS FOR ASSESSING INHOMOGENEITIES IN THE INTERIOR OF RESERVOIR ROCKS OF UNDERGROUND GAS STORAGE

В работе представлены результаты первичного цифрового 3D анализа внутренней структуры неоднородных пористых материалов по данным рентгеновской компьютерной томографии на примере породы-коллектора подземного хранилища газа. Исследования выполнены на высокоразрешающем рентгеновском микротомографе Procon X-Ray CT-MINI Института проблем механики РАН. Описана методика получения и обработки данных томографии высокопористых пород-коллекторов, продемонстрированы принципы цифрового анализа снимков для изучения объемного содержания примесей в породе. Дана оценка открытости и геометрии системы трещин в материале. Определено объемное содержание минералогических неоднородностей породы. Сделан вывод о применимости описанных методов для решения проблем нефтегазовой науки и промышленности.

Ключевые слова: рентгеновская томография, внутренняя структура пород, цифровой 3D-анализ, трещиноватость, свойства горных пород, сегментация снимков КТ.

The paper presents the results of the primary digital 3D analysis of the internal structure of heterogeneous porous materials using X-ray computed tomography data on the example of a reservoir rock of an underground gas storage facility. The studies were performed on the high resolution X-ray microtomograph Procon X-Ray CT-MINI of the Institute of Problems of Mechanics of the Russian Academy of Sciences. The methodology of obtaining and processing tomography data from highly porous reservoir rocks is described, and the principles of digital image analysis for studying the volumetric content of impurities in the rock are demonstrated. The openness and geometry of the fracture system in the material are evaluated. The volumetric content of mineralogical inhomogeneities in the rock is determined. The conclusion about the applicability of the described methods for solving problems of oil and gas science and industry is made.

Keywords: X-ray tomography, internal structure of rocks, digital 3D analysis, fracturing, rock properties, segmentation of CT images.

Информационные технологии произвели революцию в науке и промышленности, и нефтегазовая отрасль не является исключением. Одним из относительно новых применений информационных технологий в этой области является проведение цифрового анализа снимков рентгеновской компьютерной томографии (КТ) ядерного материала. Компьютерная томография является неразрушающим методом изучения материалов, который позволяет визуализировать внутреннюю структуру объектов, включая горные породы. Совместно с применением специального ПО этот метод исследований позволяет проводить количественное и качественное изучение структуры, а также моделировать процессы на базе полученных данных [1]. Эта технология особенно полезна в нефтегазовой промышленности, где она используется для получения подробной информации о породах-коллекторах и их свойствах, таких как проницаемость и пористость [2].

Анализ изображений КТ с помощью цифровых методов позволяет более точно и эффективно интерпретировать данные снимков. Цифровые методы обработки изображений, такие как сегментация, могут быть использованы для идентификации и выделения конкретных особенностей, представляющих интерес в отсканированных образцах горных пород [3]. Затем эти особенности могут быть оценены количественно. Примером применения такого анализа может являться

количественная оценка раскрытости трещин или структурных неоднородностей материалов, объемной доли вкраплений и примесей.

В данной работе представлена методика проведения цифрового исследования внутренней структуры неоднородных пористых материалов на примере породы-коллектора подземного хранилища газа на основе данных рентгеновской компьютерной томографии. Исследования проведены на томографе СТ-MINI Института проблем механики РАН. Описаны процессы получения и обработки данных томографии высокопористых пород-коллекторов, продемонстрированы принципы цифрового анализа снимков для изучения объемного содержания примесей в породе. Дана оценка раскрытости трещин породы, вызванных действием напряжений. Определено объемное содержание пространственных минералогических неоднородностей в составе породы. Сделан вывод о применимости описанных методов для упрощения получения данных о свойствах коллекторов и решения проблем нефтегазовой науки и промышленности.

Для проведения компьютерной томографии и получения изображений образцов использовался высокоразрешающий рентгеновский микротомограф ProCon X-Ray СТ-MINI [4]. Прибор имеет жесткое основание (монокристаллическая гранитная плита) для практического исключения влияния температурного дрейфа и точной установки рентгенооптических и других компонентов системы внутри прибора, что обеспечивает точность и стабильность измерений во всем диапазоне рабочего пространства. Рентгеновская трубка с высоким разрешением, микрофокусом и замкнутым контуром имеет регулируемый диапазон выходного напряжения от 20 кВ до 90 кВ и регулируемый диапазон тока от 10 мкА до 160 мкА. Максимальная выходная мощность трубки составляет 8 Вт. Наименьший размер фокусного пятна - 5 мкм. Высокочувствительный рентгеновский детектор с низким уровнем шума имеет число пикселей 2940 x 2304 и размер пикселя 49,5 мкм. Размер активной (чувствительной) области составляет 146 x 114 мм [5].

Методика исследования с использованием данного прибора состоит из трех основных этапов: сканирование образца породы в камере томографа; компьютерная реконструкция снимков и создание 3D проекта; обработка данных и цифровой анализ. На первом этапе образец помещается внутрь камеры между источником и детектором и закрепляется на специальном держателе. Далее проводится калибровка и выбор параметров сканирования для наилучшего качества съемки данного материала: разрешение съёмки, фильтр, угол поворота образца, время экспозиции и т.д. В процессе получения данных источник и детектор неподвижны, а образец вращается вокруг своей оси. Результатом этого шага являются двумерные проекции образца, где интенсивность окрашивания каждого пикселя зависит от коэффициента ослабления материала. Полученный массив проекций затем математически обрабатывается (реконструируется) оператором с помощью специализированного программного обеспечения VGSTUDIO. Данные могут быть представлены как в двухмерных проекциях, так и в виде трехмерной модели образца, которая качественно визуализирует весь объем данных.

Наиболее технически сложным и трудоемким этапом является обработка полученного массива и цифровой анализ данных. Реконструированный снимок загружается в специализированное ПО Geodict Math2Market GmbH, позволяющее проводить многомасштабную обработку 3D изображений, моделирование, визуализацию и определение свойств материалов [6]. В дополнение к основным возможностям обработки изображений GeoDict предлагает различные методы сегментации изображений и способы моделирования однофазного и двухфазного потока жидкости в пористых средах [7-9]. В качестве примера в работе представлены результаты, полученные для слабосцементированного песчаника с разветвленной системой трещин, вызванной воздействием неравномерного поля напряжений.

После реконструкции получено трехмерное изображение внутренней структуры образца. Дальнейшая обработка и цифровой анализ 3D снимка, выполняющийся в ПО GeoDict, состоит из следующих этапов: обрезка и выравнивание изображения, применение алгоритмов удаления артефактов (дефектов) сканирования, корректировка яркости по объему, фильтрация для сглаживания изображения, реализация процедуры сегментации и необходимых измерений на ее основе. Обрезка изображения необходима для отсечения границы материал/воздух, а также существенно важна в случае дальнейшего численного моделирования разного рода процессов на полученной структуре. Для корректировки яркости изображения применялся метод Gradient Brightness Correction

вдоль трех осей, который позволяет компенсировать неравномерность распределения оттенков серого по объему для относительно однородного изображения, что зачастую связано с немонохроматичностью пучка излучения при сканировании и различиями в процессе прохождения волн по глубине образца. Для проведения количественного анализа также требуется проведение процедуры фильтрации снимка, что позволит сгладить шумы и снизить зернистость изображения, тем самым упростив процедуру сегментации [10]. Для описанного образца использовался фильтр Non Local Means. На рисунке 1 слева представлена одна из проекций полученного изображения образца. Черным цветом представлены поры и трещины, серым – материал породы, белым – минеральные неоднородности. Материал содержит разветвленную систему трещин и неоднородности в виде примесей плотного вещества (выделенные областями 1-3). Подобные минеральные неоднородности могут быть представлены отдельными точечными включениями (область 1), полосами напластования (область 2) или плотными скоплениями (область 3). Такие включения в коллекторах ПХГ могут представляться широким спектром веществ: кварцами, кальцитами, минералами, металлами, хлоридами, натрием, глинистыми минералами. Для точного определения типа вещества необходимо проведение специализированных минералогических и химических исследований. Стоит отметить, что определение многих типов веществ может быть выполнено и с помощью томографии, однако для этого необходимо проведение отдельных опытов со специальной калибровкой прибора, согласно ожидаемым коэффициентам ослабления изучаемых материалов. В данной работе речь пойдет только о количественном анализе неоднородностей.

Программное обеспечение GeoDict и VGSTUDIO позволяют провести первичный анализ трещинообразования. Так, после проведения описанных этапов были определены раскрытость возникшей системы трещин, а также их ориентированность с помощью линейных и объемных измерений. Раскрытость левых двух трещин, представленных на рисунке 1, составила 171 – 226 мкм; правых двух – от 200 до 830 мкм. Знание характера раскрытости трещин необходимо для понимания характера разрушения, а также для анализа процессов пескопроявления. Эта информация влияет на подбор характеристик внутрискважинного оборудования, применяемого на объектах эксплуатации.

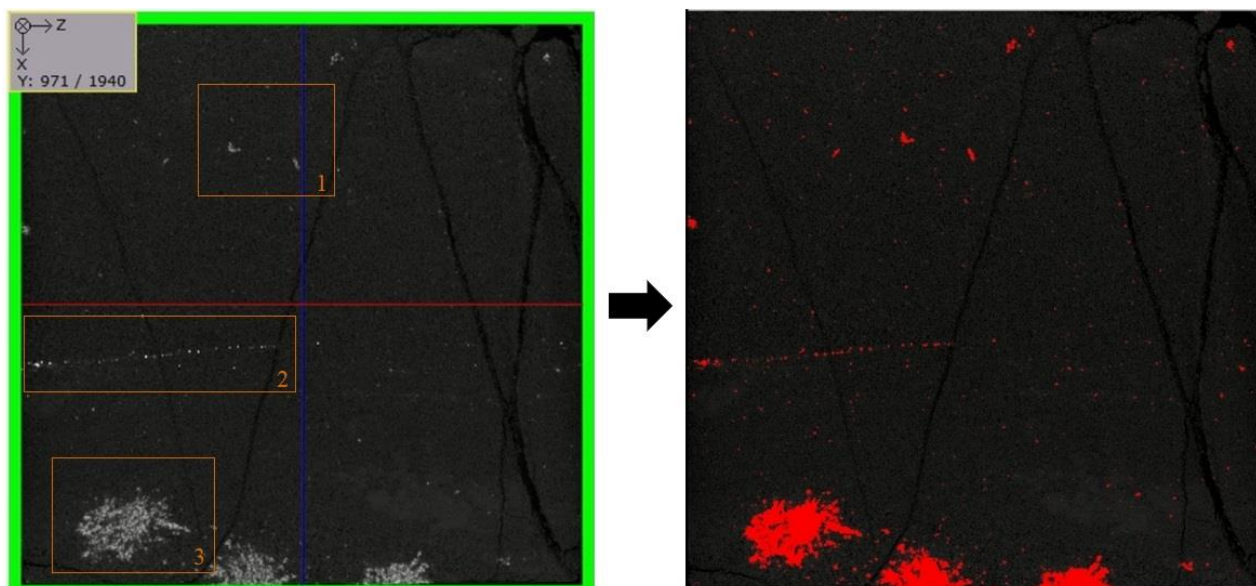


Рисунок 1 – Проекция полученного снимка образца, а также результат сегментации

Для дальнейшего анализа объемного содержания примесей в материале была проведена процедура сегментации. Сегментация изображения, т.е. разделение вокселей (объемных пикселей) на воздух и другие вещества, может быть выполнена различными способами, в т.ч. методом Otsu, пороговым способом и применением нейросети [11]. Сегментация является одним из наиболее важных шагов к получению корректной информации о материале. Каждому вокселю при этом

присваивается ярлык конкретного вещества, после чего возможно проведение точного количественного анализа материала. По итогам сравнения полученных структур для дальнейшего анализа использовался полученный с помощью пороговой сегментации результат.

На рисунке 1 справа показан результат программного выделения неоднородностей для той же проекции снимка: красным цветом показаны пиксели, которым присвоен ярлык минеральных неоднородностей на основе цветовой дифференциации. Сравнения границы выделенных красным участков с исходным изображением слева (светлые точечные участки), можно оценить точность проведенной сегментации на примере областей 1-3, отмеченных на рисунке слева. При правильном подборе параметров сегментации удастся выделить необходимое число пикселей изображения с достаточной точностью. Конечным результатом сегментации является 3D модель образца с выделенными участками, в зависимости от числа сегментируемых типов веществ. Так, в ходе данного анализа выполнялось разделение на два типа: минеральные неоднородности и все остальные вещества. Далее созданная модель анализировалась средствами ПО GeoDict. Одна из возможностей – определение доли выделенных вокселей в общем объеме 3D модели или ее локальных зонах путем подсчета их суммарного количества. Данный анализ показал, что содержание примесей в данной структуре составляет 2.18%. Знание объемной доли минеральных веществ в породе необходимо для анализа характеристик пластового флюида, состава пластовых вод, экологического мониторинга. Помимо этого, результат сегментации позволяет объемно визуализировать интересующие воксели изображения, убрав из рассмотрения все остальные материалы, а также проводить численное моделирование разного рода процессов на базе полученной объемной воксельной сетки.

Таким образом, применение описанных возможностей цифрового анализа результатов компьютерной томографии позволяет получать широкий спектр данных о материалах. С точки зрения нефтегазового и горного дела, данная технология позволяет упростить количественное и качественное изучение свойств горных пород, а также существенно дополнить лабораторные способы исследований за счет неразрушающего воздействия. В работе описана методика проведения первичного цифрового исследования внутренней структуры неоднородных пористых материалов на примере породы-коллектора подземного хранилища газа по данным рентгеновской компьютерной томографии. Исследования выполнялись на высокоразрешающем рентгеновском микротомографе Procon X-Ray CT-MINI Института проблем механики РАН. Описаны процессы получения и обработки данных томографии высокопористых пород-коллекторов, продемонстрированы принципы цифрового анализа снимков для изучения объемного содержания примесей в породе. Дана оценка раскрытости и геометрии системы трещин в материале. Определено объемное содержание пространственных минералогических неоднородностей в составе породы. Сделан вывод о применимости описанных методов для упрощения получения данных о свойствах коллекторов и решения проблем нефтегазовых науки и промышленности.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ проект № 22-11-00273.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lichun J., Mian C. 3D imaging of fractures in carbonate rocks using X-ray computed tomography technology // Carbonates and Evaporites. 2014. Vol. 29, No. 2. P. 147–153.
2. Kling T. et al. Simulating stress-dependent fluid flow in a fractured core sample using real-time X-ray CT data // Solid Earth. 2016. Vol. 7. P. 1109–1124. <https://doi.org/10.5194/se-7-1109-2016>
3. Bali A., Singh S. N. A review on the strategies and techniques of image segmentation // 2015 Fifth International Conference on Advanced Computing & Communication Technologies. – IEEE, 2015. – С. 113-120.
4. Химуля В.В., Барков С.О. Анализ изменения внутренней структуры низкопроницаемых пород-коллекторов средствами компьютерной томографии при реализации метода направленной разгрузки пласта // Актуальные проблемы нефти и газа. – 2022. – №. 4 (39). – С. 27-42.
5. CT-MINI by ProCon X-Ray GmbH: [электронный ресурс] URL: <https://procon-x-ray.de/en/ct-mini> (Дата обращения: 23.04.2023).

6. GeoDict - The Digital Material Laboratory: [электронный ресурс] URL: <https://www.math2market.de/> (Дата обращения: 23.04.2023).
7. Balucan R. et al. Coal permeability stimulation by NaClO oxidation // The APPEA Journal. 2019. Vol. 59, No. 2. P. 846–850.
8. Steel K.M. et al. Identification of preferential pathways in the pore microstructure of metallurgical coke and links to anisotropic strength properties // Fuel. 2021. Vol. 296. P. 120688. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120688>
9. Herdtle T., Xue Y., Bolton J.S. Numerical modelling of the acoustics of low density fibrous media having a distribution of fiber sizes // Publications of the Ray W. Herrick Laboratories. 2017. Paper 167
10. Shreyamsha Kumar B. K. Image denoising based on non-local means filter and its method noise thresholding // Signal, image and video processing. – 2013. – Т. 7. – С. 1211-1227.
11. Ar Rushood I. et al. Segmentation of x-ray images of rocks using deep learning // SPE Annual Technical Conference and Exhibition: Virtual, October 2020. Paper SPE-201282-MS. 13 p. <https://doi.org/10.2118/201282-MS>

Химуля Валерий Владимирович

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, г. Москва
К.ф.-м.н., м.н.с. лаборатории геомеханики
Тел.: +7(495) 434-41-60
E-mail: khim@ipmnet.ru

Барков Святослав Олегович

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, г. Москва
Аспирант, м.н.с. лаборатории геомеханики
Тел.: +7(495) 434-41-60
E-mail: sviatoy97@gmail.com

УДК 629.056.8

А.В. ЦЫПЦОВА, А.О. КУЯНОВ
A.V. TSIPTSOVA, A.O. KUYANOV

ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ О ГЕОЛОКАЦИИ АБОНЕНТОВ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ В СПУТНИКОВЫХ КАНАЛАХ

TRANSMISSION OF INFORMATION ABOUT THE GEOLOCATION OF MOBILE COMMUNICATION SUBSCRIBERS IN SATELLITE CHANNELS

В данной статье авторы освещают проблему позиционирования и геолокации абонентов систем подвижной радиосвязи.

Ключевые слова: подвижная радиосвязь; передача информации; сеть; базовая станция; спутниковая связь; навигационная информация.

In given article authors shine a problem of positioning and geolocation of subscribers of mobile radio communication systems.

Keywords: mobile radio; transfer of information; network; base station; satellite communications; navigation information.

Развитие новых способов передачи и обработки информации позволяет успешно использовать наиболее современные услуги связи для решения задач по организации информационного взаимодействия в экстремальных ситуациях, которые могут возникать в различных сферах человеческой деятельности [1]. Вопросы позиционирования и геолокации абонентов систем подвижной радиосвязи (ПР), используемые при ликвидации ЧС, в полной мере относятся к данному классу задач и по-прежнему остаются весьма актуальными.

Основной задачей систем ПР безусловно является оперативная передача информации между группами абонентов, поэтому доставка навигационной информации о местоположении радиостанций является сопутствующей задачей. Действительно, каждая из радиостанций подобной сети [2] имеет в своем составе оборудование для определения местоположения по сигналам спутниковых систем радионавигации ГЛОНАСС/GPS и располагает возможностями по передаче своих координат через базовую станцию (БС) в центр коммутации и управления сформированного фрагмента сети ПР, который в свою очередь, уже средствами спутниковой связи, передает данную информацию в диспетчерский центр, для отображения местоположения радиостанции на графической подложке. Общая схема формирования и обмена навигационной информацией, использованная при проведении натурального эксперимента, описываемого в данной работе, представлена на нижеследующем рисунке 1.

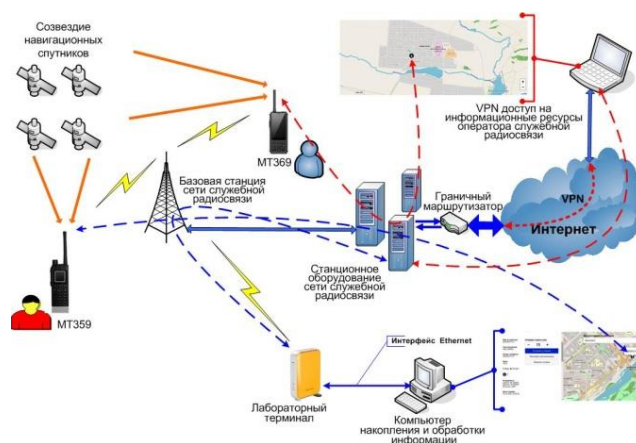


Рисунок 1 – Схема проведения натурального эксперимента по геолокации радиостанций

Как видно из приведенного рисунка в составе станционного оборудования импровизированного оператора развертывается телематический информационный ресурс, который опрашивает радиостанции на предмет получения информации об их местоположении. Сформированный таким образом массив сопутствующей информации сохраняется средствами данного информационного ресурса и оказывается доступным для внутренних и внешних абонентов сети ПР.

При этом к числу внутренних абонентов могут быть отнесены абонентские устройства, которые имеют возможность сформировать канал доступа непосредственно средствами системы ПР (синий пунктир на рисунке 1) [2].

Абонентские радиостанции, использованные в ходе эксперимента (XinWeiMT359 и WI369) [2] имеют возможность автономного определения своего местоположения принимая и обрабатывая сигналы навигационных спутников (рисунок 1).

Дальнейшими шагами по обработке сопутствующей навигационной информации была ее передача через спутник связи на геостационарной орбите в удаленный диспетчерский центр. Для этого был сформирован выделенный симметричный дуплексный канал связи. Отведенную для его работы полосу частот Δf можно было варьировать от 300 кГц до 1 МГц. В ходе эксперимента была получена оценка интервала времени Δt , через который удавалось опрашивать координаты радиостанций, расположенных в зоне радиопокрытия системы ПР, сформированной средствами автономной подвижной базовой станции (БС).

Для внешних ресурсов, в состав которых требуется передать информацию о геолокации абонентов ПР при проведении эксперимента использовались технологии спутниковой связи через геостационарный спутник [3]. При этом удаленный диспетчерский центр, являясь сугубо внешним ресурсом по отношению к сформированному фрагменту сети ПР, реализовал прямой доступ к навигационной информации, организуя VPN-канал по специально выделенному для этой цели интернет-адресу (красный пунктир на рисунке 1), обслуживаемому граничным маршрутизатором внутренней сети системы ПР. Так для спутникового канала с $\Delta f = 300$ кГц и числа радиостанций в зоне радиопокрытия ПР $k=10$, интервал опроса местоположений не мог быть менее 12-15 сек. При этом все же основной задачей спутникового канала был дуплексный обмен речевой информацией не менее чем с 3-мя радиостанциями, работающими в составе описанного фрагмента сети ПР.

Полученные таким образом результаты местоопределений радиостанций могут быть отображены на графической подложке в удаленном диспетчерском центре. Местоположение радиостанции в отсутствие многоэтажной городской застройки было определено значительно точнее (усредненная ошибка не превысила 3-5 метров). Результаты местоопределений показаны на рисунке 2. Содержание информации, которое при этом может быть выведено на монитор, представлено на рисунке 2.



Рисунок 2 – Отображение результатов местоопределений абонентов на графической подложке в условиях городской застройки

Практика использования описанной технологии геолокации абонентских радиостанций показала нецелесообразность запросов координат со стороны диспетчерского центра с интервалом $\Delta t < \Delta t_{\text{ГЛОНАСС/GPS}}$, где $\Delta t_{\text{ГЛОНАСС/GPS}}$ - интервал получения отсчетов координат собственно абонентской радиостанцией. В этом случае диспетчерский центр будет повторно получать те же самые отсчеты и тем самым существенно искажать, например, вид траектории перемещения абонента.

На экране абонентской радиостанции можно получить дополнительную информацию, которая характеризует качество процедуры местоопределения. Одним из наиболее значимых параметров может считаться число радиовидимых навигационных спутников. Как показала практика использования описываемой технологии в условиях плотной городской застройки, число радиовидимых спутников оказывает существенное влияние особенно на первоначальные результаты местоопределений радиостанций, особенно в условиях близких к «холодному старту».

Поэтому одним из основных выводов по результатам проделанной работы может считаться необходимость первоначальной подготовки радиостанций для последующей эффективной работы в предполагаемом районе. Для предварительной подготовки требуется включить радиостанции и обеспечить возможность приема обновленного альманаха о состоянии спутниковой группировки для района предполагаемого использования. Отказ от этой процедуры приводит к появлению существенной ошибки определения координат на начальном этапе. Данная ситуация проиллюстрирована на рис 2, где радиостанции 1 и 2 располагают актуальным альманахом, а все остальные работают в режиме «холодного старта». В рассматриваемом случае все радиостанции находились практически в одном месте и кроме отсутствия актуального альманаха всем радиостанциям кроме № 1 и 2 была затруднена радиовидимость навигационных спутников в юго-восточной полусфере. Для обеспечения оперативного взаимодействия в подобной ситуации при отображении информации на экране диспетчерского центра клик по значку радиостанции приводит к появлению на экране всех цифр её номера, по которому можно оперативно передать информацию.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Красноярского краевого фонда науки, в рамках научного проекта (код заявки 2022060208783).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грудин С.В., Черников Д.Ю. Технология конвергенции сетей фиксированной и мобильной связи // Исследовано в России, МФТИ, Москва, 2006 г
2. Профессиональная сеть радиосвязи: официальный сайт. 2017. URL: <http://www.comminform.ru/cat/cat/xinwei-mt359/>
3. Галеев Р.Г., Туров А.В., Черников Д.Ю. Радиотехнологии организации соединительных линий для автономных телекоммуникационных комплексов. -В сб.: Современные проблемы радиоэлектроники. Материалы XXIII Всерос.научн-технич.конф. с междун. уч., посвящ. 127-й годовщине дня радио. Отв. редактор Ф.В. Зандер. Красноярск, 2022.с. 3-10.

Цыпцова Арина Витальевна

Институт инженерной физики и радиоэлектроники сибирского федерального университета, г. Красноярск
Аспирант
Тел.: +7(913) 594-31-50
E-mail: arinacypcova@gmail.com

Куянов Артем Олегович

Институт инженерной физики и радиоэлектроники сибирского федерального университета, г. Красноярск
Аспирант
Тел.: +7(913) 507-37-62
E-mail: worms3@mail.ru

СЕКЦИЯ 4
«ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОЦИАЛЬНОЙ СФЕРЕ»
SECTION 4
«INFORMATION TECHNOLOGIES IN SOCIAL SPHERE»

УДК 004.42

Б.А. ВИТЛУГИН
B.A. VITLUGIN**ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕСТИРОВАНИЯ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ****DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN INFORMATION SYSTEM FOR ANALYZING THE RESULTS OF TESTING STUDENTS' KNOWLEDGE**

В данной статье автор описывает процесс проектирования информационной системы для проведения анализа статистических данных и демонстрирует возможности ее применения на примере анализа результатов тестирования.

Ключевые слова: информационная система; разработка; статистический анализ; тестирование.

In this article, the author describes the process of designing an information system for analyzing statistical data and demonstrates the possibilities of its application using the example of analyzing test results.

Keywords: information system; development; statistical analysis; testing.

Сегодня, когда компьютерные технологии активно используются во всех сферах деятельности, для анализа статистических данных с достаточно большой выборкой необходимо использовать информационно-вычислительную технику и соответствующее для этого программное обеспечение.

И хотя на сегодняшний день разработано достаточно много пакетов статистического анализа и систем, функционал которых поддерживает статистический анализ для различных направлений в частности, в целях упрощения процесса анализа и сокращения временных затрат на его проведение для конкретных случаев более оптимальным решением будет разработка собственной информационной системы проведения статистического анализа.

В статье описан процесс проектирования и реализации информационной системы для статистического анализа результатов тестирования знаний студентов. В качестве анализируемых данных была выбрана база результатов решений студентами тестирования, состоящего из десяти историко-математических задач [1], которое проводилось в течение трех лет. Полностью решенная задача оценивалась в 2 балла, частично решенная задача оценивалась в 1 балл, если задача не была решена совсем, она оценивалась в 0 баллов.

Так как выводы о результатах тестирования, сделанные исключительно по сравнению количества итоговых баллов, не только не раскрывают в полной мере этого метода проверки знаний, но и могут быть ошибочны, и так как полезность тестирования напрямую зависит от того, насколько верно и точно интерпретированы его результаты, для выявления различий в уровне знаний тестируемых и их сравнения относительно друг друга необходима разработка методов такой интерпретации. В условиях, при которых для корректного оценивая результатов тестирования нужно учитывать множество критериев его проведения, методы многофакторного анализа результатов тестирования могут выступать средством объективной оценки качества образования. Для выявления зависимостей среди статистических данных результатов тестирования наиболее подходящим будет применение метода регрессионного анализа [2].

При разработке ИС, предназначенной для обработки значительных объемов данных и их анализа, первоначально необходимо произвести описание иерархии функций управления и обработки данных разрабатываемого ПО [3].

Дерево функций – это иерархическая структура всех действий, которые реализованы в рассматриваемой ИС. Все виды деятельности программного продукта можно разделить на сервисные и основные функции. Организация этих функций осуществляется с учетом условий обработки и управления в рамках предметной области.



Рисунок 1 – Дерево функций ИС

На рисунке 1 представлено дерево функций разработанной ИС, отображающее функционал автоматизированной системы и схему взаимодействия с пользователями.

Было выполнено моделирование основных операций сценария диалога предназначенных для реализации в оконных формах системы, которые изображены на рисунке 2.

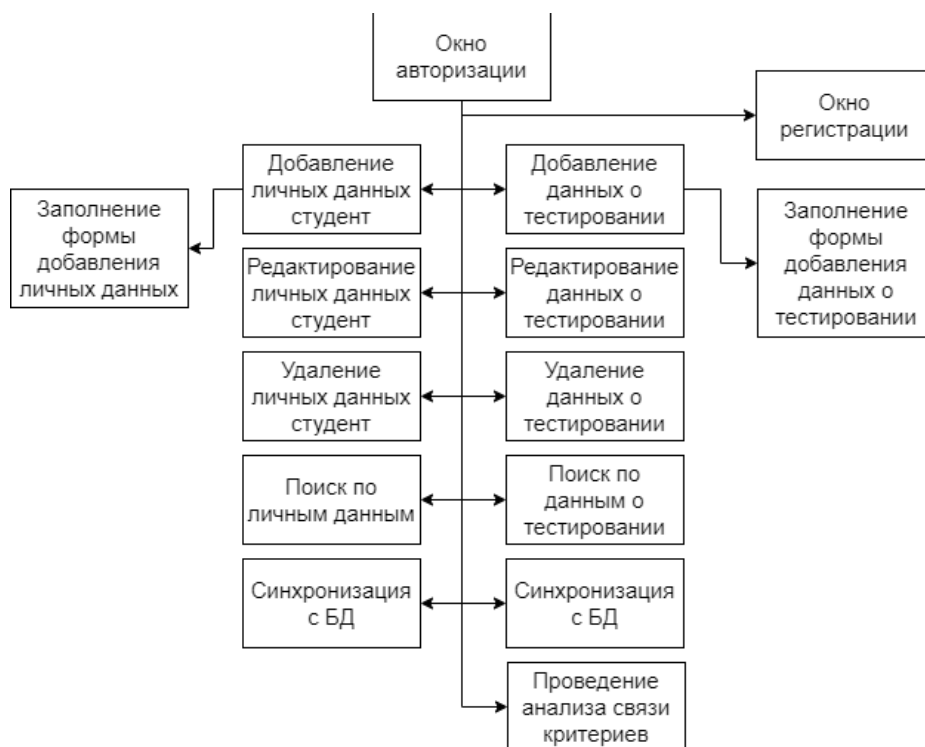


Рисунок 2 – Сценарий диалога

Данный сценарий диалога описывает различные варианты, доступные пользователю для взаимодействия с ИС, обрабатывающей результаты прохождения тестирования.

Все модули, разработанные в ИС содержат необходимые процедуры и функции для работы с данными, относящихся к ним.

Модуль выполнения анализа служит средством обработки статистических данных, полученных из БД, используя их для проведения корреляционного анализа.

Модуль отчета по анализу предоставляет результаты анализа в виде, доступному пользователю, строит графики и сохраняет результаты проведенного анализа в БД.

Модуль взаимодействия с БД предоставляет необходимые для работы других систем данные, хранимые в БД, и вносит в нее необходимые изменения.

Также была спроектирована UML-диаграмма классов, представленная на рисунке 3, по была спроектирована программа. На ней отражены классы, их атрибуты и методы, а также взаимоотношение между ними. Так, модуль интерфейса отвечает за возможность комфортного взаимодействия пользователя с программой, предоставляет графические элементы взаимодействия ввода-вывода с помощью окон и различных элементов, расположенных на них.

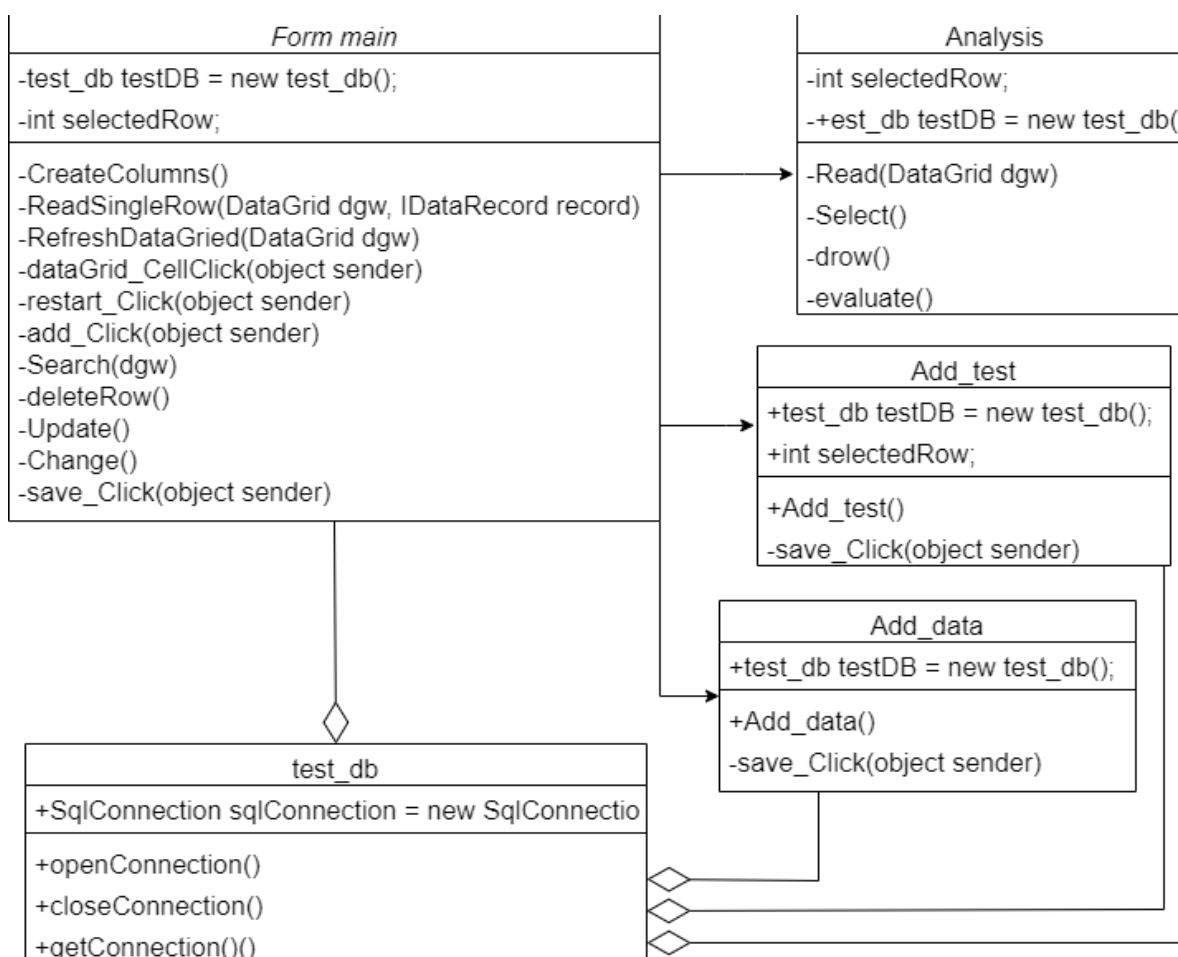


Рисунок 3 – Диаграмма классов

Классам в данной схеме также соответствуют оконные формы, а для подключения базы данных выделен отдельный класс, объекты которого используются в остальных классах-формах для подключения к БД. После реализации взаимодействия с базой данных из приложения необходимо реализовать анализ данных из БД с помощью регрессионного анализа и графического отображения данных.

В разработанной ИС взаимодействие с анализируемыми данными реализовано с помощью выпадающих списков критериев для формирования выборки, с помощью которых можно проводить анализ на паре наборов выбранных данных. Чтобы сделать критерий активным для формирования выборки, нужно активировать расположенный рядом с критерием checkbox. Если нужно анализировать данные в рамках определенного значения критерия, например, только студентов

института ИИиЦТ, в выпадающих списках нужно выбрать значение этого критерия одинаковым. Критерии же, которые послужат для формирования пары анализируемых выборок данных, нужно выбрать различными. Если в одной выборке из пары анализируемых наборов данных меньше, чем во второй, анализ произведется по меньшему количеству.

Так, на рисунке 4 отображен анализ 11 пар студентов института ИИиЦТ, между тестируемыми 18 и 22 лет.

Результатом анализа является график, по умолчанию отображающийся столбчатым. На его горизонтальной оси расположены номера анализируемых пар, на вертикальной – значение коэффициента корреляции между ее данными. Столбчатый график выбран для отображения по умолчанию, как как важно отобразить насколько высока степень корреляции в каждом из наборов данных, порядок же сравниваемых пар относительно друг друга при таком подходе не важен.

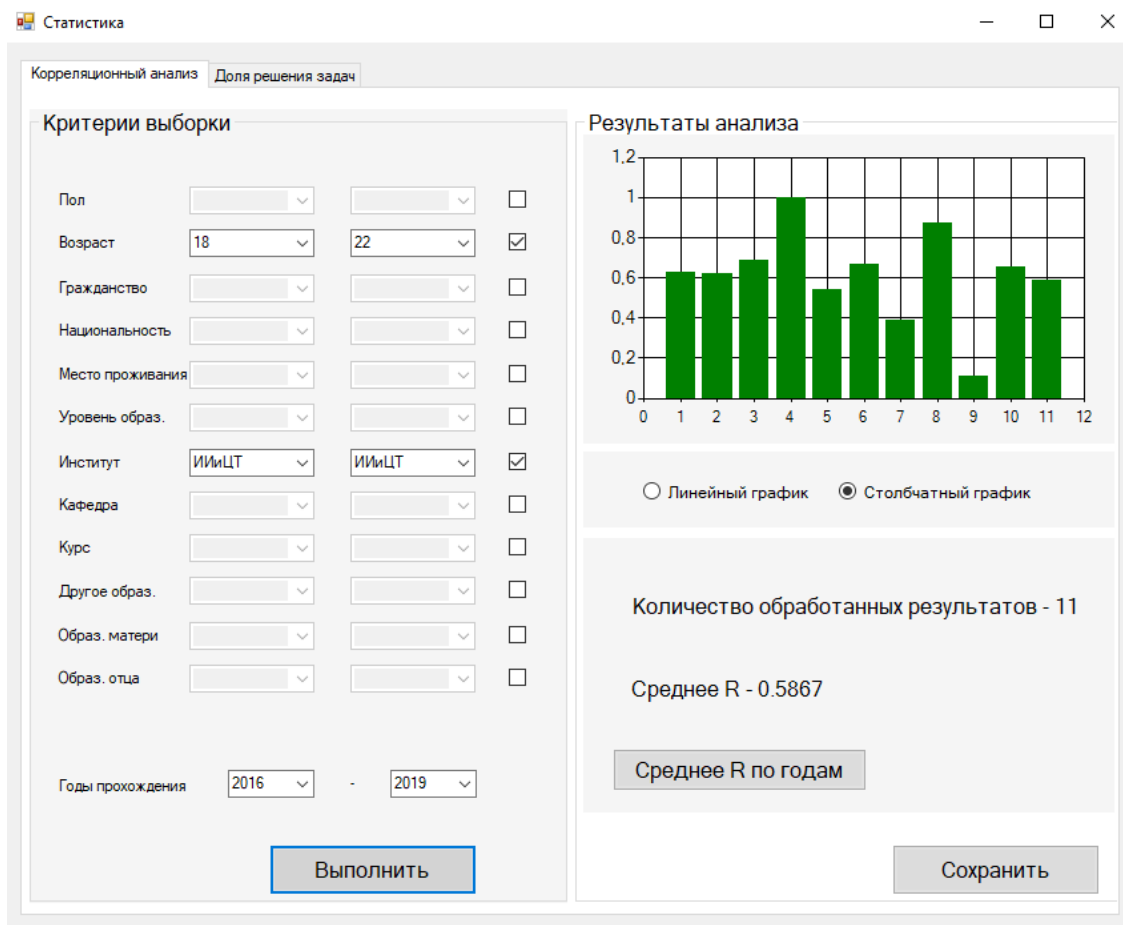


Рисунок 4 – Анализ полученных результатов студентов по возрасту

В данном случае средний коэффициент корреляции $R = 0,5867$, что говорит о наличии схожести в решении тестов студентов 18 и 22 лет, однако, не слишком высокой. Сравним его с критерием R при выборке студентов 18 и 19 лет (рисунок 5).

Коэффициент R стал значительно выше – $0,7154$, из чего можно сделать вывод о том, что даже в рамках одного института более сходные возрастные группы студентов дают более схожие результаты решений.

Проведем сравнение среди бакалавров студентов из России и Узбекистана. Среднее R при этом составляет $0,6591$ при 15 обработанных результатах, а затем аналогичный анализ на студентах из Китая и России – коэффициент значительно снизился до значения $0,4556$, что может говорить о большей схожести образовательных программ Узбекистана и России, чем России и Китая.

Также было проведено аналогичное сравнение, но среди магистрантов – коэффициент $R = 0,404$ схож с коэффициентом анализа среди бакалавров, что говорит о том, что разность в образовательных подходах стран оказывает сильное влияние даже после нескольких лет обучения в одном ВУЗе.

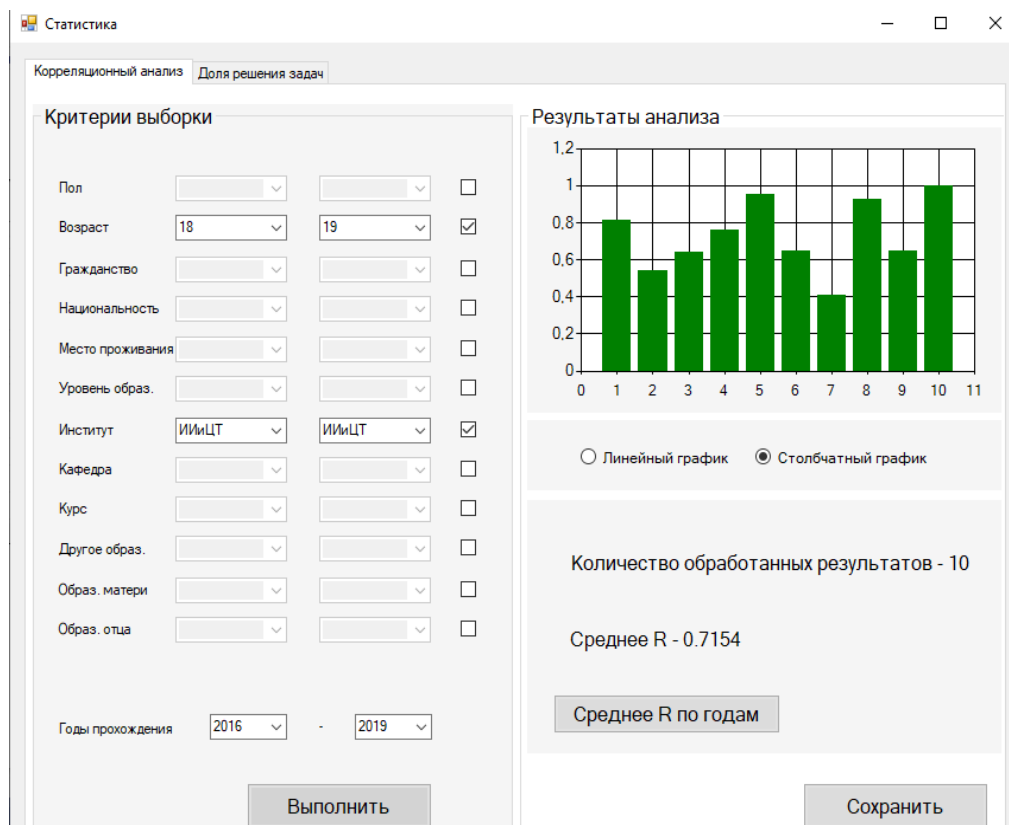


Рисунок 5 – Сравнение по возрасту 18 и 19 лет

Данные примеры использования разработанной ИС демонстрируют разнообразные возможности трактовки результатов статистической выборки в зависимости от того, какие критерии были выбраны для анализа.

Таким образом, в данной статье кратко описан ход разработки собственной ИС для проведения статистического анализа и продемонстрированы элементы ее архитектуры, также статья описывает несколько примеров возможного использования данной ИС с трактовкой результатов проведенного анализа результатов тестирования по выбранным критериям с целью демонстрации наглядных преимуществ, которые может принести разработка собственной системы под конкретные задачи. Собственная система будет обладать минимальным порогом вхождения для пользователей, будет удобной и интуитивно понятной в обращении, вследствие чего ускорится процесс обработки данных, кроме того, такая система гарантировано будет обладать в точности необходимым функционалом и не иметь избыточного.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Московкин В.М., Гахова Н.Н., Витлугин Б.А. Многофакторный анализ результатов решения историко-математических задач студентами // Оригинальные исследования: науч.–практ. электрон. журн. – 2021. – Т.11, №12. – С. 174–201. / [Электронный ресурс]. – URL: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2021-oris-12-2021/a230473> (дата обращения 10.05.2023).
2. Мастицкий, С.Э. Статистический анализ и визуализация данных с помощью R [Текст] / С.Э. Мастицкий. – М.: ДМК, 2019. – 496 с.
3. Балдин, К.В. Информационные системы в экономике: Учебник [Текст] / К.В. Балдин, В.Б. Уткин. – М.: Дашков и К, 2017. – 395 с.

Витлугин Богдан Александрович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
 Магистрант кафедры прикладной информатики и информационных технологий
 Тел.: +7(904) 093-90-84
 E-mail: massaraksh1181@yandex.ru

УДК 681.3.063

В. А. ГРОМОВ
V. A. GROMOV

РАСКРЫТИЕ ПОТЕНЦИАЛА ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В АНАЛИЗЕ СОЦИАЛЬНЫХ МЕДИА: ПОДХОД НА ОСНОВЕ PYTHON

UNLEASHING THE POTENTIAL OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN SOCIAL MEDIA ANALYSIS: A PYTHON-BASED APPROACH

Исследуется применение искусственного интеллекта на основе Python для анализа социальных медиа. Представлены подходы машинного обучения и анализа данных для извлечения ценных выводов из социальных медиа-платформ.

Ключевые слова: искусственный интеллект; анализ социальных медиа; язык программирования Python.

This article explores the application of artificial intelligence based on Python for social media analysis. It presents machine learning and data analysis approaches to extract valuable insights from social media platforms.

Keywords: artificial intelligence; social media analysis; Python programming language.

Введение

В современном информационном обществе социальные медиа стали источником огромного объема данных, содержащих ценную информацию о мнениях, предпочтениях и поведении пользователей. Использование этих данных для социальных исследований может привести к получению глубоких инсайтов и ценных выводов, которые помогут понять и анализировать социальные явления. Однако, объем данных в социальных медиа огромен, и их анализ может быть сложной задачей. В этом контексте использование искусственного интеллекта и языка программирования Python становятся незаменимыми инструментами для эффективного и автоматизированного анализа социальных медиа.

Цель данной статьи заключается в исследовании потенциала искусственного интеллекта в анализе социальных медиа и представлении подходов на основе языка программирования Python. Представлены основные принципы и методы, используемые для извлечения ценной информации из данных социальных медиа-платформ. Подходы, основанные на машинном обучении, обработке естественного языка и анализе визуального контента, будут рассмотрены с примерами исследовательских задач, которые можно решить с помощью Python.

Основы искусственного интеллекта в анализе социальных медиа

Современные социальные медиа-платформы предоставляют пользовательскую активность в виде текстовых сообщений, изображений, видео и аудиозаписей. Анализировать и извлекать ценные данные из этих источников с помощью традиционных методов может быть сложной и ресурсоемкой задачей. В этом контексте искусственный интеллект (ИИ) становится мощным инструментом для автоматизации и повышения эффективности анализа социальных медиа.

ИИ включает в себя различные методы и техники, которые позволяют компьютерным системам анализировать, понимать и воспроизводить человеческое поведение и интеллектуальные задачи. В анализе социальных медиа ИИ может использоваться для автоматического классификации и категоризации контента, обнаружения трендов и сентимента, а также предсказания пользовательского поведения.

Язык программирования Python стал одним из наиболее популярных выборов для разработки ИИ-систем. Python предлагает широкий спектр библиотек и инструментов, специально созданных для обработки данных, машинного обучения и анализа естественного языка.

Благодаря своей простоте и гибкости, Python облегчает разработку и эксперименты с различными алгоритмами и моделями ИИ.

В рамках анализа социальных медиа ИИ может быть использован для решения различных задач, включая:

1. Обнаружение и классификацию контента: алгоритмы машинного обучения могут быть применены для автоматического обнаружения и классификации контента в социальных медиа, таких как текстовые сообщения, изображения и видео. Это позволяет эффективно фильтровать и организовывать большие объемы данных.

2. Анализ тональности: алгоритмы обработки естественного языка могут использоваться для определения тональности и эмоциональной окраски текстовых сообщений пользователей в социальных медиа. Это позволяет оценить отношение пользователей к определенным темам, продуктам и услугам, а также выявить настроение общественного мнения по определенным событиям или брендам.

3. Предсказание поведения пользователей: ИИ-модели могут быть обучены на основе исторических данных пользовательской активности в социальных медиа, что позволяет предсказывать будущее поведение пользователей, их предпочтения, интересы и потребности. Это ценная информация для разработки персонализированных стратегий маркетинга и взаимодействия с пользователем.

4. Извлечение информации и поиск контента: алгоритмы обработки естественного языка и анализа визуального контента могут использоваться для извлечения информации и поиска конкретного контента в социальных медиа. Например, они могут автоматически находить и классифицировать посты, связанные с определенными темами или ключевыми словами, что облегчает поиск и анализ данных.

В данной статье рассмотрены основы искусственного интеллекта, а также его применение в анализе социальных медиа с использованием языка программирования Python. Далее представлены основные концепции и методы, которые можно использовать для решения указанных задач. Кроме того, приведены примеры реальных приложений и исследовательских проектов, где использование Python и ИИ привело к значимым результатам в анализе социальных медиа данных.

Подходы к анализу социальных медиа с использованием Python

Анализ социальных медиа требует применения различных подходов и методов для обработки и извлечения ценной информации из огромных объемов данных. Из основных методов можно выделить следующие:

1. Предварительная обработка данных.
2. Анализ тональности и тональности.
3. Обнаружение и классификация контента.
4. Предсказание поведения пользователей.

Предварительная обработка данных

При анализе социальных медиа данных с использованием Python необходимо выполнить ряд этапов предварительной обработки данных, чтобы обеспечить надежность и точность анализа. Эти этапы включают удаление шума и очистку текстовых данных, токенизацию и лемматизацию текста, удаление стоп-слов, а также извлечение хештегов и упоминаний.

Первый шаг предварительной обработки данных – удаление шума и очистка текстовых данных. Это включает в себя удаление нежелательных символов, пунктуации и специальных символов, которые могут вносить искажения в анализ. Например, ссылки, хештеги и эмодзи могут быть удалены, чтобы сосредоточиться на основном содержании сообщений.

Второй шаг – токенизация и лемматизация текста. Токенизация разделяет текстовые сообщения на отдельные слова или токены, что облегчает последующий анализ. Лемматизация приводит слова к их базовой форме, чтобы унифицировать данные и уменьшить размерность. Например, слова «бегу», «бежит» и «бежал» могут быть приведены к общей форме «бежать».

Третий шаг – удаление стоп-слов. Стоп-слова – это общие и нерелевантные слова, которые не несут смысловой нагрузки для анализа. Это могут быть артикли, предлоги, место-

имения и т.д. Исключение таких слов из данных позволяет сосредоточиться на более значимых ключевых словах и улучшить качество анализа.

Четвертый шаг – извлечение хештегов и упоминаний. Хештеги и упоминания пользователей являются важными элементами социальных медиа данных. Извлечение хештегов позволяет категоризировать сообщения и определить тематики, связанные с определенными ключевыми словами. Извлечение упоминаний пользователей помогает анализировать взаимодействия между пользователями и формировать социальные связи.

В Python существует множество библиотек и инструментов, которые облегчают выполнение этих этапов предварительной обработки данных. Библиотека Natural Language Toolkit (NLTK) предоставляет широкий спектр функций для предварительной обработки текстовых данных. Она содержит инструменты для токенизации, лемматизации, удаления стоп-слов и многих других операций. NLTK также предлагает набор корпусов и лексических ресурсов, которые могут быть использованы для обогащения и анализа текстовых данных.

Еще одна популярная библиотека для предварительной обработки текста в Python – это spaCy. spaCy предлагает эффективные алгоритмы токенизации, лемматизации и разметки частей речи. Она также включает предварительно обученные модели для распознавания именованных сущностей и извлечения информации из текста.

Кроме NLTK и spaCy, существуют и другие полезные инструменты, такие как TextBlob, который предоставляет простой и понятный интерфейс для работы с текстовыми данными. Еще одним инструментом стоит упомянуть Gensim, который специализируется на обработке текстовых данных для тематического моделирования и семантического анализа.

При предварительной обработке данных в анализе социальных медиа с использованием Python, выбор конкретных инструментов зависит от конкретных требований и задач исследования. Независимо от выбранного инструмента, хорошо структурированная предварительная обработка данных существенно влияет на качество и точность анализа социальных медиа данных.

Анализ тональности и сентимента

Анализ тональности и сентимента является методом оценки эмоциональной окраски текстовых сообщений, например, в социальных медиа. Он позволяет определить отношение автора текста к определенной теме, продукту или событию.

При проведении анализа тональности и сентимента, текстовые сообщения анализируются с целью определить их положительный, отрицательный или нейтральный оттенок. Для этого применяются различные методы, включая машинное обучение, обработку естественного языка и использование словарей с оценками сентимента.

Алгоритмы машинного обучения могут быть обучены на размеченных данных, чтобы автоматически классифицировать тексты по их тональности. Эти модели учитывают лексические и синтаксические особенности текста, а также контекст и настроение, выраженное в сообщении.

Также существуют словари с оценками сентимента, которые содержат слова с присвоенными им значениями, указывающими на их положительность, отрицательность или нейтральность. Анализаторы сентимента используют эти словари для определения общей тональности текста на основе суммирования оценок слов, встречающихся в сообщении.

Анализ тональности и сентимента имеет широкий спектр применений. Он может быть использован для извлечения мнений и настроений из социальных медиа данных, оценки реакции пользователей на новости или продукты, выявления трендов и публичного мнения, а также для принятия решений в области маркетинга и репутации бренда.

Обнаружение и классификация контента

Обнаружение и классификация контента являются важными задачами в анализе социальных медиа данных. Эти задачи позволяют автоматически определять и организовывать различные типы контента, такие как текстовые сообщения, изображения и видео, с целью эффективной фильтрации и обработки больших объемов данных.

Алгоритмы машинного обучения играют ключевую роль в обнаружении и классификации контента. Они могут быть обучены на размеченных данных, чтобы автоматически распо-

знавать и отличать различные типы контента. Например, модели машинного обучения могут быть обучены для обнаружения спама, насилия, ненормативной лексики или других нежелательных форм контента.

Для текстовых сообщений, алгоритмы обработки естественного языка применяются для извлечения признаков и классификации текста. Они могут использовать методы, такие как анализ частей речи, выделение ключевых слов и фраз, а также машинное обучение для определения категории или класса, к которому принадлежит текст.

В случае изображений и видео, глубокое обучение и нейронные сети используются для обнаружения и классификации контента. Сверточные нейронные сети (Convolutional Neural Networks) способны автоматически распознавать объекты, лица, сцены и другие характеристики на изображениях и видео.

Обнаружение и классификация контента в социальных медиа данных имеют широкий спектр применений. Это включает фильтрацию нежелательного контента, определение тематической направленности сообщений, анализ популярности и трендов, а также анализ поведения пользователей.

Предсказание поведения пользователей

Для предсказания поведения пользователей используются различные подходы, включая коллаборативную фильтрацию, анализ социальных графов, а также прогнозирование временных рядов и паттернов.

Коллаборативная фильтрация основана на анализе истории взаимодействий пользователей с контентом и их схожести с другими пользователями. На основе этой информации, модели машинного обучения могут предсказывать, какие элементы или рекомендации будут наиболее интересны и релевантны каждому конкретному пользователю.

Анализ социальных графов включает изучение связей и взаимодействий между пользователями в социальных медиа. На основе структуры графа и взаимодействий между узлами, модели машинного обучения могут предсказывать вероятность того, что пользователь проявит интерес или совершит определенные действия, исходя из активности его связей.

Прогнозирование временных рядов и паттернов позволяет предсказывать будущее поведение пользователей на основе анализа их предыдущих действий и изменений во времени. Это может быть полезным для прогнозирования тенденций, трендов и изменений в предпочтениях пользователей.

Предсказание поведения пользователей имеет множество применений в социальных медиа, включая рекомендательные системы, персонализированную рекламу, прогнозирование спроса на продукты и услуги, анализ эффективности маркетинговых кампаний и многое другое. Это позволяет улучшить опыт пользователей, повысить эффективность взаимодействия и принимать более информированные решения на основе предсказательных моделей.

Алгоритм обнаружения тематики с использованием Latent Dirichlet Allocation (LDA)

LDA – это вероятностная модель, которая позволяет выделить скрытые темы в наборе текстовых документов. Он основан на предположении, что каждый документ может быть представлен как смесь нескольких тем, а каждое слово в документе связано с определенной темой. LDA позволяет выделить ключевые темы и определить, какие слова чаще всего связаны с каждой темой.

При использовании модели LDA для анализа тематик в коллекции постов понадобятся следующие шаги:

Шаг 1: Предварительная обработка данных

Перед применением LDA необходимо провести предварительную обработку данных. Это может включать в себя удаление стоп-слов, приведение слов к нормальной форме (лемматизация) и удаление нерелевантных символов или ссылок. Для этого можно использовать библиотеку Natural Language Toolkit (NLTK) в Python (рисунок 1).

```
import nltk
from nltk.corpus import stopwords
from nltk.stem import WordNetLemmatizer
from nltk.tokenize import word_tokenize

# Загрузка стоп-слов и инициализация лемматизатора
nltk.download('stopwords')
nltk.download('wordnet')

stop_words = set(stopwords.words('english'))
lemmatizer = WordNetLemmatizer()

# Предварительная обработка текста
def preprocess_text(text):
    # Токенизация текста
    tokens = word_tokenize(text.lower())

    # Удаление стоп-слов и символов пунктуации
    tokens = [token for token in tokens if token.isalnum() and token not in stop_words]

    # Лемматизация слов
    tokens = [lemmatizer.lemmatize(token) for token in tokens]

    return tokens
```

Рисунок 1 – Предварительная обработка данных

Шаг 2: Построение модели LDA

После предварительной обработки данных можно перейти к построению модели LDA. В Python существует несколько библиотек, которые предоставляют реализацию LDA, например, Gensim (рисунок 2).

```
1 import gensim
2 from gensim import corpora
3
4 # Построение словаря и корпуса
5
6 def build_corpus(texts):
7     dictionary = corpora.Dictionary(texts)
8     corpus = [dictionary.doc2bow(text) for text in texts]
9     return dictionary, corpus
10
11 # Построение модели LDA
12 def build_lda_model(corpus, dictionary, num_topics):
13     lda_model = gensim.models.LdaModel(corpus, num_topics=num_topics, id2word=dictionary)
14     return lda_model
15
16 |
17 # Пример применения LDA
18 # Предположим, у нас есть коллекция твитов
19 tweets = [
20     "I love the new features of this app!",
21     "The customer support is terrible, very disappointed.",
22     "Great product, highly recommend it.",
23     "This company provides excellent service.",
24     "The user interface is confusing, needs improvement."
25 ]
26
27 # Предварительная обработка текста
28 preprocessed_tweets = [preprocess_text(tweet) for tweet in tweets]
29
30 # Построение словаря и корпуса
31 dictionary, corpus = build_corpus(preprocessed_tweets)
32
33 # Построение модели LDA с 2 темами
34 num_topics = 2
35 lda_model = build_lda_model(corpus, dictionary, num_topics)
36
37 # Вывод результатов модели LDA
38 topics = lda_model.print_topics()
39 for topic in topics:
40     print(topic)
```

Рисунок 2 – Реализация LDA с использованием Gensim

В приведенном выше коде сначала предварительно обрабатывается текст твитов с помощью функции `preprocess_text()`, которая проводит токенизацию, удаление стоп-слов и лемматизацию. Затем строится словарь и корпус с использованием функции `build_corpus()`. Далее, с помощью функции `build_lda_model()` строится модель LDA с указанным количеством тем.

После построения модели LDA можно вывести результаты с помощью метода `print_topics()`, который выводит топ-слова для каждой темы. Это позволяет интерпретировать темы и понять, о чем говорят пользователи в твитах.

Таким образом, применение LDA позволяет анализировать текстовые данные социальных медиа и выявлять скрытые темы, которые обсуждают пользователи. Это может быть полезно для понимания популярных тем, мнений пользователей или для выявления новых трендов.

Вывод

В данной работе были рассмотрены подходы и инструменты для анализа социальных медиа с использованием соответствующих библиотек Python, что позволяет эффективно анализировать и извлекать ценную информацию из больших объемов данных. Были построены модели, которые помогли классифицировать тексты, определять тематики и анализировать тональность сообщений.

Применение аналитических методов и алгоритмов к социальным медиа может быть полезным в различных областях, включая мониторинг общественного мнения, анализ реакций пользователей на продукты или события, а также определение настроений и трендов в социальных медиа.

Таким образом, использование Python и соответствующих инструментов открывает широкие возможности для усиления социальных исследований и интеллектуального анализа контента в социальных медиа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розенберг Е.В., Виноградов О.Ю. Методы анализа социальных медиа: от идей к практике. – Москва: ДМК Пресс, 2019. – 256 с.
2. Шаров А.А. Анализ тональности текстовых данных в социальных медиа с использованием машинного обучения. // Журнал «Наука и инновации». – 2020. – Т. 12, № 3. – С. 245-253.
3. Глушков В.В. Методы анализа социальных сетей и их применение в социологических исследованиях. // Вестник Московского университета. Серия 23: Социология и политология. – 2018. – № 1. – С. 70-85.
4. Кулагин В.П., Попов Д.С. Применение глубокого обучения для анализа контента социальных медиа. // Материалы конференции «Информационные технологии и системы». – 2019. – С. 125-130.
5. Баранов И.В., Дубов И.В. Анализ социальных медиа с использованием методов машинного обучения. // Труды конференции «Интеллектуализация обработки информации». – 2021. – С. 89-94.

Громов Владислав Андреевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (НИУ БелГУ) г. Белгород
Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем
Тел.: +7(920) 562-13-90
E-mail: 1112870@bsu.edu.ru

УДК 602

В.А. ДУНАЕВА, О.Г. ХУДАСОВА, Л.В. ПОЛОВНЕВА
V.A. DUNAEVA, O.G. KHUDASOVA, L.V. POLOVNEVA**ПРОГРАММНАЯ ЧАСТЬ РОБОТОТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ
РЕАБИЛИТАЦИИ ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ****THE SOFTWARE PART OF THE ROBOTIC UPPER LIMB
REHABILITATION SYSTEM**

В данной статье авторским коллективом представлена разработанная программная часть системы реабилитации верхних конечностей с использованием бионической перчатки.

Ключевые слова: реабилитация, механотерапия, повреждения верхних конечностей, система реабилитации, утраченные функции верхних конечностей, роботизированная система, бионическая перчатка, реабилитационный тренинг.

In this article, the team of authors presents the developed software part of the upper limb rehabilitation system using a bionic glove.

Keywords: rehabilitation, mechanotherapy, upper limb injuries, rehabilitation system, lost upper limb functions, robotic system, bionic glove, rehabilitation training.

Зачастую на промышленных предприятиях у работников случаются травмы верхних конечностей, вследствие которых может быть частично или полностью снижена работоспособность трудящегося. Повреждения верхних конечностей, к сожалению, являются одним из частых и тяжелых видов травм, которые кардинально влияют на качество жизни человека в первую очередь в профессиональной среде. Таким людям необходима реабилитация верхних конечностей, необходимая для восстановления утраченных вследствие повреждений функций.

Механотерапия является самым эффективным видом физического метода реабилитации и часто применяется в качестве базового средства восстановления утраченных функций конечностей пациентов с использованием специализированного оборудования [1]. Суть тренировки при применении механотерапии заключается в многократной, постепенно повышающейся и систематически повторяющейся физической нагрузке, вызывающей положительные функциональные изменения в организме человека.

Особую актуальность приобретают исследования, связанные с решением задачи ликвидации последствий перенесенных травм и заболеваний с использованием роботизированных тренажеров, оснащенных биологической обратной связью (БОС) для восстановления утраченных функций организма [2]. Роботизированные устройства, приводящие в движение конечности человека всё шире внедряются в медицинскую практику.

Целью работы являлось совершенствование результатов реабилитации верхних конечностей за счет разработки программной части роботизированной системы. Объектом исследования являлся процесс реабилитации верхних конечностей. Предметом исследования послужили методы и алгоритмы роботизированных систем реабилитации верхних конечностей.

Разработанная система представляет собой программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий восстановление пациентов после различных заболеваний и травм, связанных с потерей функциональности кисти и пальцев руки. Пациент с нарушениями двигательной активности кисти должен будет проходить реабилитационный тренинг с интерфейсом на мониторе компьютера, используя при этом специализированное робототехническое средство для отслеживания движений поврежденной руки и выполнения самого тренинга. Для наилучшего представления роботизированной системы реабилитации верхних конечностей была разработана структурная модель данной системы, изображенная на рисунке 1.



Рисунок 1 – Структурная модель роботизированной системы реабилитации верхних конечностей

Система реабилитации верхних конечностей заключается в двух основных подсистемах: аппаратной и программной. Аппаратная часть системы состоит из бионической перчатки. В состав подсистемы бионической перчатки входит пять датчиков сопротивлений и плата Arduino UNO R3. Программная часть системы выражена в виде двух программных модулей: для платы Arduino UNO R3, входящей в состав бионической перчатки; для Visual Studio, необходимой для разработки приложения реабилитационного тренинга.

Информация с датчиков сопротивлений выражена в значениях сопротивления, говорящих о положении определенного пальца в пространстве. Так значение сопротивления «25» будет говорить о разомкнутом пальце, а значение «5» о том, что палец полностью сомкнут. Аппаратная часть системы бионической перчатки взаимодействует с программным модулем для Arduino UNO R3, передавая значения сопротивлений, снятых с перчатки. А программный модуль для Visual Studio взаимодействует с программным модулем для Arduino UNO R3 и позволяет выполнять реабилитационный тренинг на компьютере. Таким образом, разработанная структурная модель системы наглядно описывает состав системы реабилитации верхних конечностей.

Для разработки программной части роботизированной системы реабилитации верхних конечностей использовалось робототехническое устройство, представляющие собой бионическую перчатку «Hiwonder LOBOT», изображенную на рисунке 2. Она состоит из 3 основных узлов: основание-перчатка, система датчиков для отслеживания жестов и плата управления Arduino UNO. Система датчиков состоит из пяти выносных сопротивлений, гироскопов и датчиков наклона, служащих для считывания движений пальцев и определения точного положения ладони.

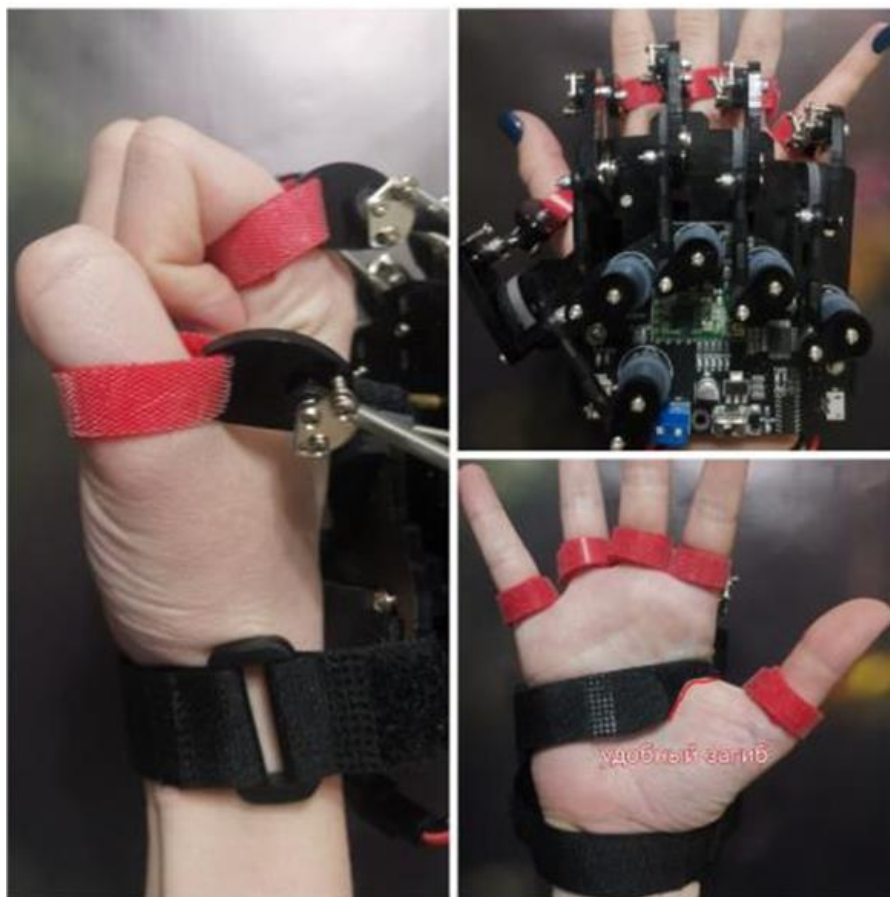


Рисунок 2 – Бионическая перчатка «Hiwonder LOBOT»

Для реализации реабилитационного тренинга был сформирован комплекс лечебно-гимнастических упражнений для кисти и пальцев на основе методики по Яношу [3]. На рисунке 3 изображена последовательность восстановительных движений.

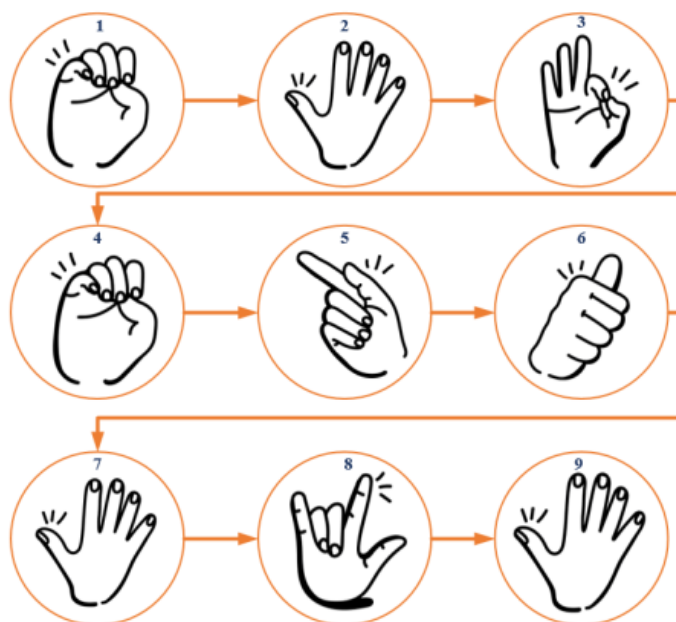


Рисунок 3 – Последовательность лечебно-гимнастических упражнений

Комплекс лечебно-гимнастических упражнений для кисти и пальцев состоит из следующей последовательности упражнений:

1. Сжатие пальцев в кулак;
2. Разжимание всех пальцев;
3. Сжатие указательного и большого пальцев в «кольцо»;
4. Сжатие пальцев в кулак;
5. Разжимание большого и указательного пальцев;
6. Сжатие всех пальцев, кроме большого - движение «класс»;
7. Разжимание всех пальцев;
8. Сжатие большого и безымянного пальцев;
9. Разжимание всех пальцев.

При выполнении активных движений улучшается кровоток, следовательно, поврежденные вследствие болезни нейроны получают больше кислорода и быстрее восстанавливаются. Мышечная ткань должна получать физические нагрузки, чтобы глубинные ветви лучевого нерва получали питательные вещества и кислород. Данные упражнения также направлены на укрепление мышц, гибкость и эластичность связочного аппарата кисти и пальцев.

Для разработки программной части роботизированной системы реабилитации верхних конечностей с целью совершенствования результатов реабилитации был разработан алгоритм отслеживания движений бионической перчатки Hiwonder LOBOT, представленный на рисунке 4.



Рисунок 4 – Алгоритм отслеживания движений бионической перчатки Hiwonder LOBOT

Сначала происходит считывание сигнала с пяти датчиков бионической перчатки Hiwonder LOBOT. Эти данные отправляются на СОМ-порт микроконтроллера и затем передаются на экран монитора в виде последовательности значений сопротивления. Каждое такое значение свидетельствует о положении пальца в текущий момент. Значение сопротивления «25» говорит о разомкнутом пальце кисти, а значение «5» свидетельствует о том, что палец полностью сомкнут. Колеблющиеся в данных пределах значения говорят о частично разомкнутом или сомкнутом пальце пациента. Таким образом происходит мониторинг движений пальцев пациента, позволяющий проходить реабилитационный тренинг верхней конечности.

Также были разработаны алгоритмы работы программы тренинга реабилитации верхней конечности для совместного использования с бионической перчаткой Hiwonder LOBOT. Данные алгоритмы представлены на рисунках 5-7.

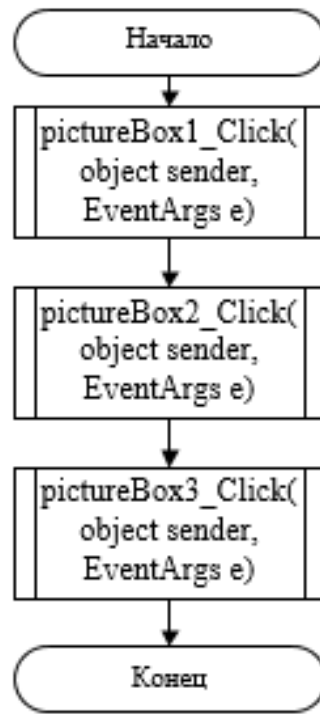


Рисунок 5 – Алгоритм главного меню

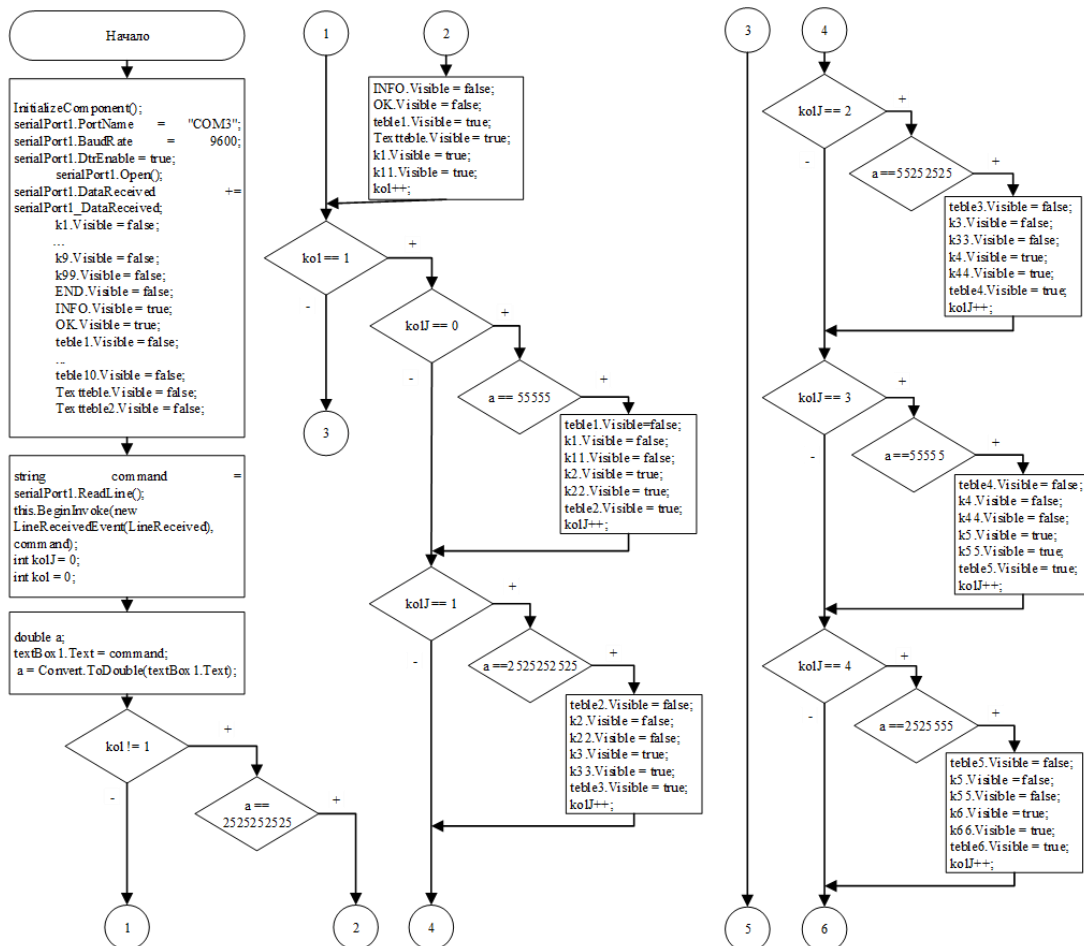


Рисунок 6 – Алгоритм программы реабилитационного тренинга

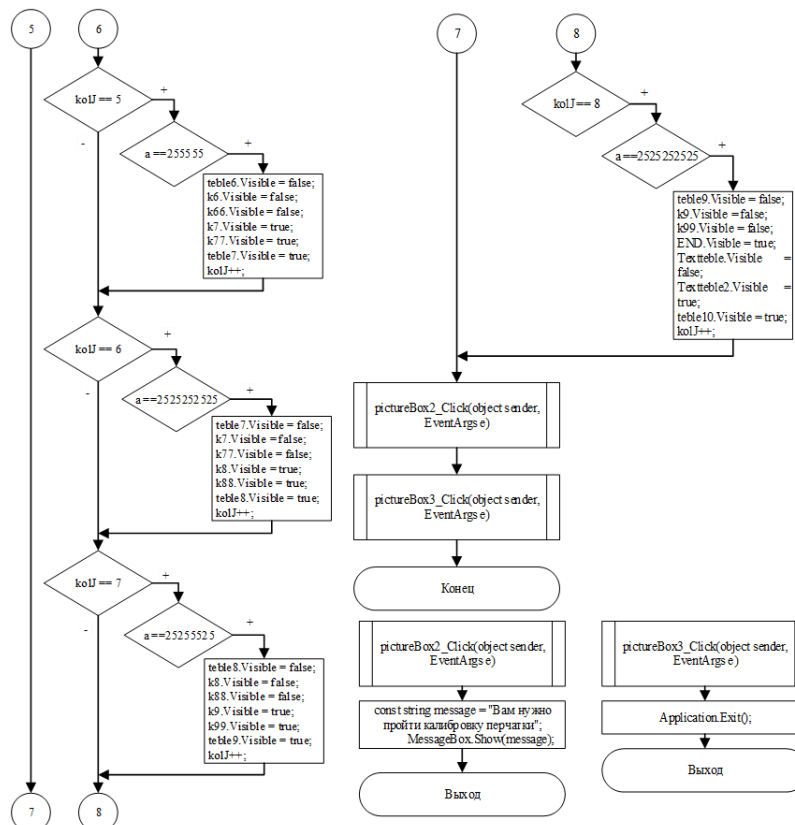


Рисунок 7 – Алгоритм программы реабилитационного тренинга

Алгоритм работы программы тренинга реабилитации верхней конечности для совместного использования с бионической перчаткой заключается в калибровке бионической перчатки, последовательности картинок упражнений и обновляющейся таблицы с ходом выполнения тренинга, необходимой для осуществления контроля врачом над пациентом.

Демонстрация работы разработанной программы для реабилитации верхних конечностей с совместным использованием бионической перчатки представлена на рисунке 8.

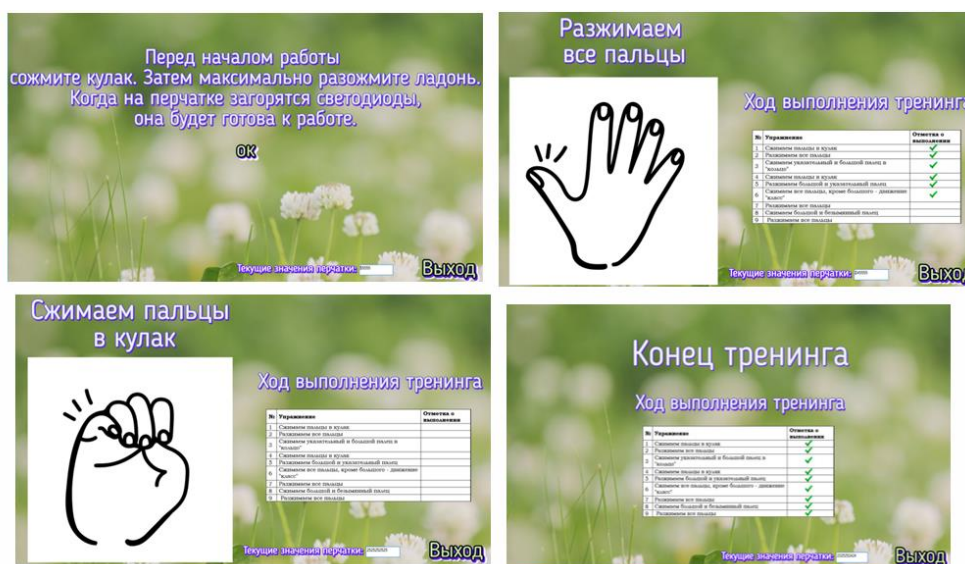


Рисунок 8 – Демонстрация работы реабилитационного тренинга

Таким образом, поставленная в начале работы цель, была достигнута за счет улучшения доступности к системе. Данная система может быть применена для реабилитации сотрудников промышленных предприятий. Развитие проекта позволит проводить качественную реабилитацию верхней конечности, а также улучшить результаты лечения и полного восстановления функций верхней конечности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Saunders, R. Hand and Upper Extremity Rehabilitation/ R. Saunders, R. Astifidis // A Practical Guide, Великобритания, 2015.
2. Королев, А.А. Медицинская реабилитация: учебное пособие / А.А. Королев и другие// Всерос. центр экстрен. и радиац. медицины им. А.М. Никифорова МЧС России. – СПб.: Политехника-сервис., 2014. – 184 с.
3. Принципы послеоперационного лечения кисти - функциональная реабилитация, URL: https://meduniver.com/Medical/travmi/lechenie_kisti_posle_operacii.html (дата обращения: 25.04.2023).

Дунаева Виктория Александровна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Студентка кафедры информационных и робототехнических систем
Тел.: +79202052807
E-mail: dunaeva@bsu.edu.ru

Худасова Ольга Геннадьевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Старший преподаватель кафедры информационных и робототехнических систем
Тел.: 301300 * 2016
E-mail: hudasova_og@bsu.edu.ru

Половнева Лилия Васильевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем
Тел.: 301300 * 2016
E-mail: polovneva_lv@bsu.edu.ru

УДК 004

Д.П. КИСЕЛЕВ, С.П. СТРОЕВ
D.P. KISELEV, S.P. STROEV

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

INTELLIGENT LIFE CYCLE SUPPORT SYSTEM OF AN ACADEMIC CONFERENCE

В данной статье авторами предлагается концептуальная модель системы сопровождения научного мероприятия на примере конференции. В рамках модели выделяются процессы, подлежащие автоматизации, определяются пользовательские и функциональные требования к системам подобного класса, приводятся алгоритмы решения отдельных задач с использованием технологий обработки естественного языка, описывается архитектура разработанного программного прототипа.

Ключевые слова: интеллектуализированная система; сопровождение научного мероприятия; программный прототип; обработка естественного языка.

In this paper, the authors propose a conceptual model of an academic event support system using the example of a conference. As part of the model, the authors identify processes that could be automated, determine user and functional requirements for systems of this class, present algorithms for solving individual problems using natural language processing technologies, and describe the architecture of the developed software prototype.

Keywords: intellectualized system; academic event support; software prototype; natural language processing.

Жизненный цикл научной конференции, по аналогии с универсальным понятием жизненного цикла, можно рассматривать как совокупность всех этапов развития, начиная от выработки замысла конференции и заканчивая изданием сборника ее материалов и его последующим размещением. Традиционно выделяются следующие этапы в жизненном цикле конференции: подготовка нормативной и регламентной документации; оповещение заинтересованных лиц; сбор и обработка авторских материалов; подготовка и размещение материалов конференции; проведение конференции. Естественно, что при планировании и реализации конференции данные этапы требуют дальнейшей детализации и назначения лиц, ответственных за их исполнение.

Реализация этапов жизненного цикла конференции сопряжена, как правило, не только с финансовыми и временными затратами, но и с затратами человеческого ресурса, состоящего в привлечении ответственных и компетентных исполнителей. Данное обстоятельство с учетом современного этапа развития технологий актуализирует проблему снижения затрат человеческого ресурса на реализацию этапов жизненного цикла научной конференции. В настоящей работе с целью разрешения указанной проблемы описывается авторская модель информационной системы по сопровождению жизненного цикла научной конференции, в которой с использованием технологий обработки естественного языка решаются наиболее трудоемкие задачи отдельных этапов. К таким задачам можно отнести поиск конференции или секции, наиболее соответствующей подготовленной работе, сбор авторских материалов, подбор рецензентов и их взаимодействие с авторами, подготовка сборника материалов конференции и его последующая индексация в научных базах.

Для реализации проекта по созданию системы поддержки жизненного цикла научной конференции выбраны гибкие методологии разработки, предполагающие итерационное наращивание функциональных возможностей [1].

Первоначально в результате анализа доступной информации об известных сервисах сопровождения научных мероприятий [2] и обсуждения проекта с экспертами в области проведения конференций составлен следующий перечень категорий пользователей и их требований, а также соответствующими им функциональные требования (таблица 1). Выделенные функциональные требования вошли в первую итерацию проекта.

Таблица 1 – Пользовательские и функция требования

Категория пользователей	Пользовательская история	Функциональные требования
Организатор	Для нового научного мероприятия вносится общая информация (название конференции, организаторы, место, время и формат проведения, информация организационном комитете, важные даты)	Создание конференции
	Редактируется общая информация об уже существующем научном мероприятии	Редактирование информации о конференции
	Удаляется информация о научном мероприятии	Удаление конференции
	Для существующего научного мероприятия добавляется новая секция. Здесь указывается общая информация о секции (название, описание секции, время и место проведения секции, руководитель)	Добавление секции
	Редактируется общая информация об имеющейся секции	Редактирование информации о секции
	Удаляется информация об имеющейся секции	Удаление секции
	На основе внесенной информации генерируется регламентная документация (шаблон приказа о проведении конференции, информационное письмо, программа конференции)	Генерирование информационного письма Генерирование программы конференции
	Осуществляется автоматическая рассылка регламентной документации заинтересованным лицам	Рассылка информационного письма, программы конференции
	Распределение / редактирование / отправка авторских материалов рецензентам	Распределение статей по рецензентам
Рецензент	По приглашению рецензент заполняет анкетные данные, используемые в дальнейшем для обработки и подбора рецензируемых работ	Заполнение анкеты рецензента
	Просмотр списка рецензируемых статей с возможностью открыть каждую из них	Рецензирование статьи
	Написание комментариев по статье и изменение ее статуса	Написание комментария к статье
Участник	Просмотр общей информации для выбранной конференции	Просмотр общей информации о конференции
	Просмотр общей информации для выбранной секции в рамках конференции	Просмотр общей информации о выбранной секции
	Поиск конференции по различным фильтрам (название, дата проведения, тематика). Здесь же реализуется сервис поиска конференции по авторской аннотации	Поиск конференции
	Поиск участников конференции по различным фильтрам (ФИО, секция)	Поиск участников
	Осуществляется подача авторского материала путем ввода частичной информации и прикрепления файлов	Подача материалов
	Просмотр текущей / итоговой программы конференции с распределением материалов по секциям	Просмотр программы конференции
	По запросу высылается приглашение на участие в конференции	Запрос на приглашение
	По запросу высылается сертификат участника конференции	Запрос на сертификат участника

Окончание табл. 1

Технический секретарь	Осуществляется предварительный сбор материалов конференции в сборник с выбранной разбивкой (по алфавиту, по секциям)	Генерирование шаблона сборника
	По сборнику в целом и каждой статье в отдельности генерируются сведения для добавления в базы цитирования	Генерирование сведений для индексирования

Необходимость взаимодействия выделенных категорий пользователей определила использование для разрабатываемой системы клиент-серверной архитектуры (рисунок 1).

Серверной частью системы является фреймворк Django языка Python, в котором с помощью Django REST framework создано API для передачи данных в ReactJS – клиентскую часть. «Сборщиком» Django выступает библиотека Daphne, которая создает ASGI приложение, которое уже в свою очередь прослушивает проху-менеджер Nginx, для которого интегрирована система мониторинга ELK. В качестве базы данных выбрана СУБД PostgreSQL. Для хранения данных используется S3 хранилище MinIO, которое позволяет в удаленном формате администраторам просматривать загруженные файлы. Также были реализован планировщик задач с помощью приложения Celery, для которого, в качестве брокера выступает RabbitMQ – специализированный брокер сообщений. Аналогично, для масштабирования информационной системы и внедрения технологии WebSocket была интегрирована база данных Redis-NoSQL, подходящая как для кеширования, так и для использования в качестве брокера сообщений.

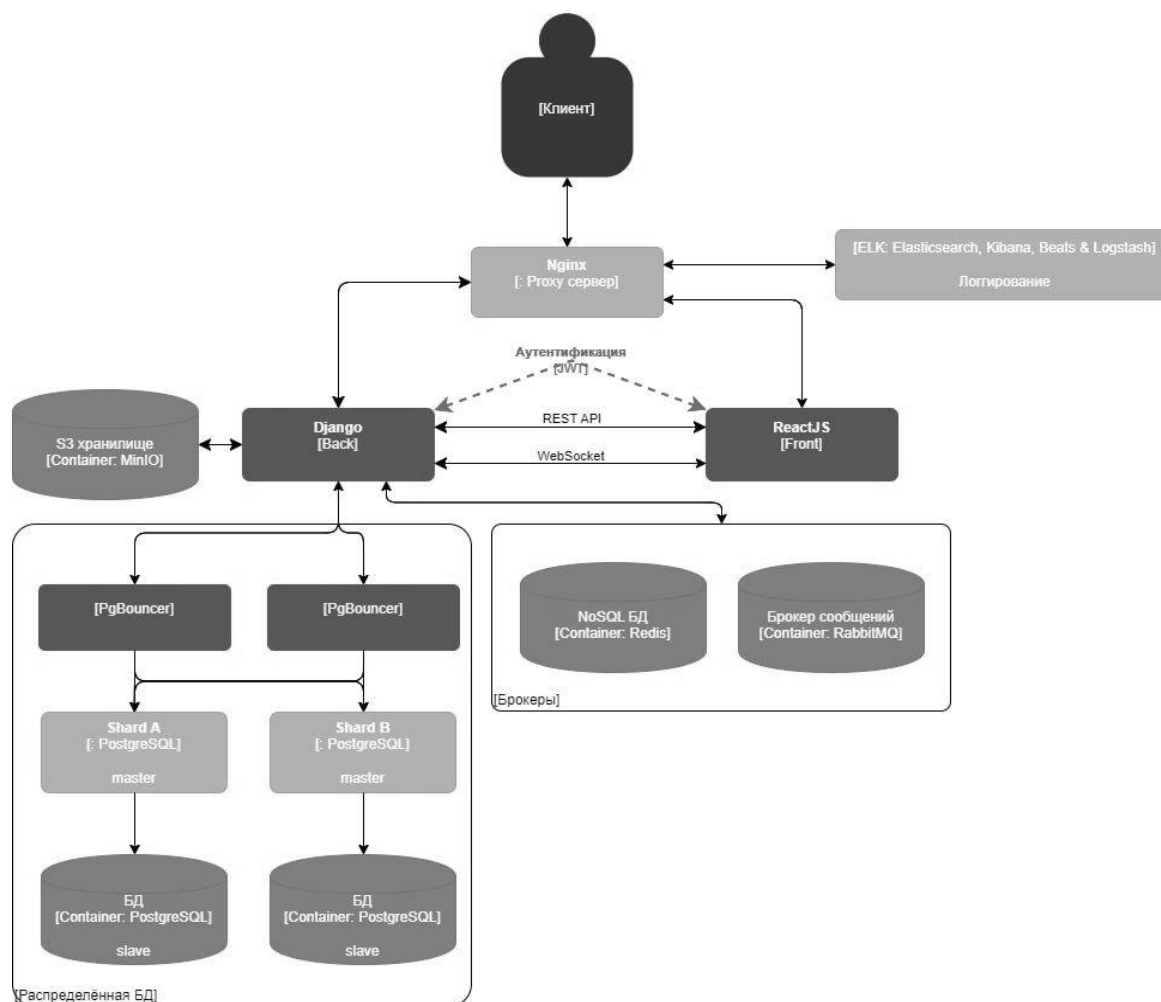


Рисунок 1 – Концептуальная схема архитектуры системы

На основе представленной архитектурной схемы разработан программный прототип системы поддержки жизненного цикла научной конференции, отдельные интерфейсы которой представлены на рисунках 2 и 3.

The image shows two side-by-side screenshots of a web application interface. The left screenshot (Figure 2) is the 'Create Conference' form. It includes fields for conference name, format (dropdown), location, organizers, chairs, program committee, organizational committee, secretary, and registration dates. The right screenshot (Figure 3) is the 'Submit Article' form. It includes fields for article name, section, authors, keywords, annotations, text, sources, and a file upload button.

Рисунок 2 – Интерфейс «Создание конференции»

Рисунок 3 – Интерфейс «Отправка материалов»

В разрабатываемой системе отдельное внимание уделяется функциям «Поиск конференции» и «Распределение статей по рецензентам», для реализации которых применяются, в том числе, методы обработки естественного языка. В частности, один из вариантов использования функции «Поиск конференции» предполагает, что вводится аннотация подготовленного материала и система возвращает список соответствующих тематических конференции и секций. Для реализации этой функции построена соответствующая векторная модель для классификации текстов. Функция «Распределение статей по рецензентам» основывается на использовании моделей информационного поиска, задачей которых является поиск для введенного материала (теста статьи) рецензента(ов), максимально схожих с ним по признаковому описанию. В качестве признакового описания рецензента используются анкетные данные, введенные им при регистрации в качестве эксперта, а также его научные работы, если таковые уже имеются в системе.

Следующая итерация разрабатываемой системы связана с наращиванием функциональности в части автоматического формирования сборника материалов конференции и тестированием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вигерс К., Битти Дж. Разработка требований к программному обеспечению. 3-е изд., дополненное. – СПб.: БХВ-Петербург, 2014. – 736 с.
2. Научная сеть «Ломоносов» [Электронный ресурс] [сайт].[2023]. URL: <https://lomonosov-msu.ru/> (дата обращения 05.05.2023).

Киселев Дмитрий Павлович

Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, г. Орел
студент направления подготовки 09.03.03 Прикладная информатика
Тел.: +7(995)-682-43-23
E-mail: Razerfuuu@mail.ru

Строев Сергей Павлович

Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, г. Орел
к.экон.н., доцент, заведующий кафедрой алгебры и математических методов в экономике
Тел.: +7(920)-282-94-82
E-mail: stroewsp@mail.ru

УДК 349

С.Р. КОЛОМИЕЦ, Е.Ю. СЕМЕНОВ
S.R. KOLOMIETS, E.Y. SEMENOV**ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И АВТОРСКИЕ ПРАВА:
ПРОБЛЕМЫ И СОЦИАЛЬНАЯ ЗНАЧИМОСТЬ****ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND COPYRIGHT:
PROBLEMS AND SOCIAL SIGNIFICANCE**

В данной статье авторы анализируют основные проблемы возникающие в области защиты авторского права, связанные с использованием систем искусственного интеллекта. Подчеркивается социальная значимость развития искусственного интеллекта, определение наиболее эффективного способа регулирования его использования в различных сферах деятельности. Предлагается несколько подходов для решения проблемы признания авторского права на произведения созданные с использованием искусственного интеллекта.

Ключевые слова: искусственный интеллект, авторское право, интеллектуальная собственность, результаты интеллектуальной деятельности

In this article, the authors analyze the main problems arising in the field of copyright protection related to the use of artificial intelligence systems. The social significance of the development of artificial intelligence, the determination of the most effective way to regulate its use in various fields of activity is emphasized. Several approaches are proposed to solve the problem of recognition of copyright for works created using artificial intelligence.

Keywords: artificial intelligence, copyright, intellectual property, results of intellectual activity

В последние годы искусственный интеллект (далее - ИИ) стал незаменимым инструментом в различных отраслях человеческой деятельности. Он используется в медицине, правоохранительных органах, финансовой сфере, научных исследованиях, а также может выполнять бытовой функционал. Кроме того, примером использования ИИ может служить его применение в качестве прототипа творческой личности. Так, при установке соответствующих параметров разработчиками, ИИ может создавать литературные, музыкальные и художественные произведения.

Следует отметить, что несмотря на всю значимость и перспективность рассматриваемого изобретения, в мировом сообществе не существует общепринятого определения понятия ИИ (различные правовые системы определяют ИИ по-разному). Тем не менее, одним из ключевых признаков данной инновации, на котором мы сосредоточимся в нашей статье, является способность к созданию знаний и принятию решений на основе данных, подобно человеческому мышлению.

На данный момент существует ряд проблем, связанных с ИИ и авторским правом:

1. Определение авторства: первой и основной проблемой является определение автора произведения, созданного ИИ. При отсутствии четкого авторства возникают правовые трудности: защита исходных материалов, ответственность за нарушение прав других авторов и даже определение того, кто принадлежат права на произведение.

2. Применимость законов авторского права: существующие законы предназначены для защиты человеческого творчества. Однако, в случае с ИИ трудно определить, в какой мере код и данные влияют на авторство. Возможно, потребуется создание новых законодательных основ по этому вопросу.

3. Этические вопросы: на стыке технологий и авторских прав возникают этические дилеммы, такие как учет вклада исследователей и разработчиков ИИ, вероятность злоупотребления технологией и возникновения «машинных плагиатов». Социальная значимость таких вопросов связана с ценностью для общества точек зрения каждой стороны спора.

4. Границы творчества и интеллектуальной собственности: ИИ сталкивается с трудностями при создании уникальных произведений из-за ограниченности выборки данных, использованных

для обучения. Таким образом, возникает вопрос об уровне оригинальности произведений ИИ и возможности их защиты как интеллектуальной собственности.

До настоящего времени авторство ИИ не было юридически признано, поскольку он не имеет возможности владеть правовым статусом физического лица. Поэтому в российском законодательстве в настоящий момент защищаются только те объекты интеллектуальной собственности, автором которых признан исключительно человек. В то же время в рамках приоритетных направлений государственной политики до 2024 года предлагается совершенствовать правовой режим на результаты интеллектуальной деятельности, созданные с использованием ИИ [1].

Споры о том, что авторство ИИ должно признаваться и защищаться законом, также происходят в других странах. В США, например, Юридическая коллегия Висконсина заявила, что ИИ может считаться автором произведения, если это произведение создано ИИ без участия человека. Однако в большинстве случаев произведения, созданные ИИ, все еще требуют руководства человеком как минимум на начальном этапе разработки, что усложняет вопрос о признании авторства ИИ. Обосновывая необходимость защиты результатов интеллектуальной деятельности, стоит обратиться к утилитарной теории Дж. Ст. Милля, где акцентируется внимание не только на том, что такая защита гарантирует естественные права человека, но и на том, что само государство стимулирует авторов к созданию такой конкурентной сферы, где новые формы творческой деятельности поощряются и окупаются [2].

Возникает вопрос: есть ли смысл в стимулировании создания подобных произведений, которые являются достаточно однотипными? Ведь зачастую уровень работ, создаваемых ИИ, не всегда достаточно высок, чтобы назвать его успешным, но согласно традиционным правилам, объекты авторского права не требуют подтверждения высокой ценности, поскольку в российском праве все произведения защищаются независимо от их культурной ценности.

Следует отметить, что для предоставления правовой охраны произведениям, которые созданы ИИ, необходимо доказать творческий характер такой деятельности, так как данный критерий является основополагающим для признания за субъектом права авторства. Несомненно, ИИ изменил подход общества к творчеству. Он умеет создавать компьютерные программы, которые могут генерировать произведения искусства: музыку, живопись или скульптуру. Однако, существует неоспоримое утверждение о том, что такие результаты не могут сравниться с творчеством человека, так как искусство должно быть неповторимым и иметь смысл, а это означает, что оно должно быть создано исключительно человеком.

Также можно констатировать то, что технологии ИИ не просто формируют различным образом загруженные в их оперативную память данные, а создает новый и уникальный результат. Несмотря на это, возможно ли отнести процедурную генерацию произведения к творчеству компьютерного алгоритма? Понимание творчества может быть рассмотрено с помощью объективного и субъективного подходов [3]. В соответствии с субъективным подходом существует прямая связь между произведением и личностью человека, поскольку в произведении выражается индивидуальность автора. Согласно объективному подходу, творческие способности проявляются не столько в самой деятельности, сколько в результате ее продуктивной работы. Оценка результата интеллектуальной деятельности основывается на его вкладе в развитие культуры и наличии новаторства. При этом произведение, созданное искусственным интеллектом, не может быть приравнено к творческому результату, поскольку на текущем уровне развития ИИ не способен генерировать оригинальные идеи без предварительной обработки данных, заложенных в него человеком.

Таким образом, необходимо выяснить, каким образом стоит выстроить распределение авторских прав на произведения, созданные с помощью ИИ. Также стоит уделить внимание распределению доходов между разработчиками, собственниками программного кода ИИ, конечными пользователями и другими заинтересованными сторонами. Это касается не только этических, но и экономических аспектов развития отрасли ИИ. Для достижения этой цели необходимо пересмотреть законодательный базис, который регулирует вопросы интеллектуальной собственности. Считаем возможным предложить несколько подходов к решению данной проблемы, однако, стоит учесть, что ни один из них не является единственно правильным в юридической теории.

1. Юридический подход заключается в разработке новых законов и правил, которые определяют авторские права на произведения, созданные ИИ. Существуют следующие варианты решения:

а) Признание автором разработчика ИИ. Представляется, что данный вариант целесообразно применять, когда непосредственной целью разработчика является конкретный результат деятельности ИИ. То есть проектируемые разработчиком алгоритмы и программные решения направлены на достижение конкретной цели. Пользователь системы использует только конечный результат и не может на него никак повлиять. Так по мнению С.В. Лебедкова необходимо создание критериев, которые, позволили бы определить, когда РИД был запланированным и в каком-то смысле предвиденным создателем ИИ, а в других случаях искать варианты, когда можно будет признать лицо, использующее ИИ – лицом, создавшим произведение [4].

б) Признание автором пользователя системы ИИ целесообразно, в том случае, когда система ИИ изначально спроектирована как инструмент, а конечный результат ее работы зависит от действий пользователя. Сюда можно отнести все генеративные модели ИИ, которые помогают создавать произведения в различных областях, начиная от текста и музыки, заканчивая изображениями и видео. В таких системах пользователь оказывает значительное влияние на конечный результат, что следует считать ключевым фактором в признании авторства произведения. Следует согласиться с С.И. Коданевой в том, что разработчик нейросети менее всего подходит на роль «предполагаемого автора», поскольку он создает только алгоритм, который может быть использован многократно и создавать самые разные произведения в зависимости от того, какие данные в него будут загружены [5]. Кроме того, подобный подход поможет установить четкие правила использования созданного произведения и предотвратить возможные споры и конфликты между различными сторонами.

в) Признание автором самой системы ИИ. Для реализации данного варианта необходимо осуществить радикальные изменения не только в области интеллектуальной собственности, но и в гражданском законодательстве в целом [6]. Чтобы предоставить права программе, ее необходимо сделать субъектом права, т.е. наделить правоспособностью. Однако такой подход не является целесообразным, так как введение нового правового субъекта значительно усложнит гражданский оборот. Кроме того, нельзя утверждать, что современные ИИ-системы обладают самосознанием и потребностями для использования имущественных и личных неимущественных прав.

Каждый из приведенных вариантов имеет как достоинства, так и недостатки, что обуславливает сложность обозначенной проблемы, однако, с учетом текущего уровня развития законодательства целесообразным представляется использование только двух первых вариантов.

2. Технический подход заключается в разработке новых технологий, которые способствуют прозрачности в определении авторства за произведениями, созданными ИИ. Это может включать в себя использование технологии блокчейна или других распределенных баз данных для того, чтобы создавать цифровые следы, отслеживающие, кто и как создал произведение.

3. Этический подход выражается в следующем:

а) Во-первых, необходимо понимать, что ИИ не является человеком и не обладает правом на создание произведений искусства.

б) Во-вторых, необходимо разделять цели использования ИИ: если желаемым результатом является создание произведения искусства, то нельзя лишать авторства того, кто создал идею, концепцию, или разработал алгоритмы создания такого объекта.

4. Промышленный подход предполагает разработку индустриальных стандартов и практик, которые согласуются с правилами и нормативно-правовой базой в области авторского права на произведения, созданные ИИ. Это может включать в себя разработку профессиональных кодексов, а также рекомендации касательно владения произведениями, созданными ИИ в различных отраслях. Также необходимо отметить, что одним из важных условий для признания прав интеллектуальной собственности искусственного интеллекта является прозрачность процессов создания. Представляется, что такое условие, а также документирование всех шагов разработки с использованием технологий блокчейн могут помочь решить проблему авторских прав.

Таким образом, тема распределения интеллектуальных прав на произведения, созданные при помощи искусственного интеллекта, вызывает живой интерес в научной среде. Вокруг нее

развернулись дискуссии о понятии творчества, а также о возможности наделения ИИ правосубъектностью. Однако данная проблема не ограничивается лишь юридическими вопросами, ведь в нее вовлечены и экономические, и философские аспекты. Тем не менее, на сегодняшний день компьютерные технологии достигли такого уровня развития, что уже начали формировать новые экономические условия на рынке и новые форматы общественных отношений. В связи с этим законодатель не может игнорировать новую реальность. Считать, что ИИ всего лишь является инструментом в руках человека, является чрезмерным упрощением. Ведь в некоторых случаях пользователь машины не осознает и не представляет себе конечный результат при вводе параметров для генерируемого произведения. Машины могут функционировать с автономностью и независимо от действий пользователя. При этом текущее законодательство в России не в состоянии охранять автономно созданный результат интеллектуальной деятельности, порожденный ИИ. Таким образом, требуется реформирование законодательства, которое должно учитывать всех участников творческого процесса и обеспечивать справедливое распределение прав и доходов в соответствии с новыми реалиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении Концепции развития регулирования отношений в сфере технологий искусственного интеллекта и робототехники до 2024 года [Электронный ресурс]: распоряжение Правительства Российской Федерации от 19.08.2020 №2129-р. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».
2. Каштанова П.А. Перспективы правовой охраны произведений, создаваемых с использованием искусственного интеллекта в России // Журнал Суда по интеллектуальным правам. – 2023. – №1 (39). – С. 120-132.
3. Наумов, В.Б. К вопросу о правовом статусе «творчества» искусственного интеллекта / В. Б. Наумов, Е. В. Тытюк // Правоведение. – 2018. – Т. 62, № 3. – С. 531-540.
4. Лебедков, С.В. Особенности определения границ авторского права с учётом развития технологий / С.В. Лебедков // Научный аспект. – 2021. – Т. 2, № 1. – С. 161-167.
5. Коданева, С.И. Трансформация авторского права под влиянием развития цифровых технологий / С.И. Коданева // Право и цифровая экономика. – 2021. – № 4(14). – С. 31-38.
6. Чернышов, М.С. Субъект интеллектуальных прав на результаты интеллектуальной деятельности, созданные искусственным интеллектом / М.С. Чернышов // Скиф. Вопросы студенческой науки. – 2023. – № 1(77). – С. 506-511.

Коломиец Софья Романовна

Орловский юридический институт МВД России имени В.В. Лукьянова, г. Орел
курсант факультета подготовки специалистов ГИБДД
Тел.: +79156217857
E-mail: softysha02@mail.ru

Семенов Евгений Юрьевич

Орловский юридический институт МВД России имени В.В. Лукьянова, г. Орел
к.ю.н., доцент, профессор кафедры информационных технологий в деятельности ОВД
Тел.: +79103054433
E-mail: john-neg@yandex.ru

УДК 002.6:025.4

И.С. КОНСТАНТИНОВ, В.А. БЕЛЕНКО, А.Н. НЕМЦЕВ, Т.В. БЕЛЕНКО
I.S. KONSTANTINOV, V.A. BELENKO, A.N. NEMTSEV, T.V. BELENKO**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ВЫБОРА
ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ ОБУЧЕНИЯ В ВУЗЕ****DESIGNING AN INFORMATION SYSTEM OF CHOICE
INDIVIDUAL LEARNING TRAJECTORY AT THE UNIVERSITY**

В статье рассматриваются вопросы проектирования информационной системы, обеспечивающей автоматизацию процессов формирования построения индивидуальных образовательных траекторий обучающихся и организацию учебного процесса с учетом принципов индивидуализации образования.

Ключевые слова: индивидуальная образовательная траектория; информационная система; учебная дисциплина; учебный поток.

The article deals with the issues of designing an information system that provides automation of the processes of forming the construction of individual educational trajectories of students and the organization of the educational process taking into account the principles of individualization of education.

Keywords: individual educational trajectory; information system; academic discipline; educational flow.

Одним из требований современной системы образования РФ, которое закреплено в федеральных государственных образовательных стандартах всех уровней образования, является ориентация учебного процесса на развитие личности обучающегося, его индивидуальных способностей. Конкурентоспособным на рынке труда становится выпускник вуза, который более эффективно выполняет профессиональные функции и быстро адаптируется к реальной действительности, имеет высокую квалификацию и владеет системой профессионально значимых личностных качеств, знаний, умений, навыков, способов и приемов деятельности. Таким образом, индивидуализация обучения, учет особенностей и образовательных потребностей конкретного обучающегося в настоящее время выступает одной из главных парадигм современной системы образования России, является одним из стратегических направлений развития отечественного образования, которое в нормативно-правовых документах Российской Федерации обозначено через понятие «индивидуальный учебный план», представляющий из себя «учебный план, обеспечивающий освоение образовательной программы на основе индивидуализации ее содержания с учетом особенностей и образовательных потребностей конкретного обучающегося» [1,2]. Под индивидуализацией обучения подразумевается система взаимодействия субъектов образования посредством инновационных форм и методов с учетом индивидуальных возможностей и потребностей каждого учащегося [3]. Причем это динамическая и легко интегрируемая с другими формами учебной деятельности система. Понятия индивидуальный образовательный маршрут и индивидуальная образовательная траектория являются инструментами индивидуализации обучения [4,5]. Авторы работы [6] определяют рассматриваемые понятия через планирование и достижение результатов обучения. Они полагают, что индивидуальный образовательный маршрут обучающегося – это планирование, индивидуальная образовательная траектория – результат.

Организация образовательного процесса с опорой на принципы индивидуализации обучения требует его построения с помощью новых, развивающих педагогических технологий, которые ориентированы на развитие каждого обучающегося и продуктивное взаимодействие субъектов обучения. Следует отметить, что для этого необходимо использовать не только комплексы психолого-педагогических и методических мероприятий, но и организационно-управленческий, информационно-технологический аппарат, позволяющий реализовать индивидуальное обучение в условиях современного процесса обучения.

Реализация в образовательном пространстве вуза системы построения индивидуальных образовательных траекторий особенно с учетом множественности реализуемых образовательных программ и вариантов выбора приводит к увеличению объема учебно-методической работы вуза,

трудностям при планировании учебного процесса (формирование нагрузки, определения учебных потоков, составления расписания занятий и др.). В связи с этим остро встает вопрос изменений в системе организации и управления образовательным процессом.

Для решения описанных проблем, характерных при формировании в вузе образовательного пространства на основе принципов индивидуализации обучения целесообразно использовать цифровые решения. Использование автоматизированных систем позволит оптимизировать процессы учебно-методической работы, направленной на формирование индивидуальных образовательных траекторий обучающихся, организации образовательного процесса с учетом индивидуального подхода [7-11].

Проектируемая информационная система выбора индивидуальных траекторий обучения должна обеспечить с одной стороны удобный и эффективный способ формирования обучающимися индивидуальных траекторий обучения за счет цифровизации выбора дисциплин учебного плана, с другой стороны – автоматизацию процессов распределения обучающихся по учебным потокам, формирования учебной нагрузки преподавателей и составления расписания.

Предполагается, что информационная система будет состоять из трех подсистем:

- Подсистема выбора дисциплин. Предназначена для организации выбора обучающимися дисциплин (модулей) по выбору в соответствии с учебным планом с учетом принятых ограничений по минимальному количеству обучающихся в учебном потоке.

- Подсистема формирования учебных потоков. Обеспечит автоматизацию процессов формирования учебных подгрупп по выбранным обучающимися дисциплинам в рамках существующих академических групп и создания учебных потоков. Данные по сформированным учебным потокам будут использоваться для формирования учебной нагрузки преподавателей и составления расписания.

- Аналитическая подсистема. Предназначена для формирования отчетов для контроля выполнения бизнес-процессов построения индивидуальных образовательных траекторий обучающихся и поддержки принятия управленческих решений.

Логическая структура информационной системы выбора индивидуальных траекторий обучения представлена на рисунке 1.

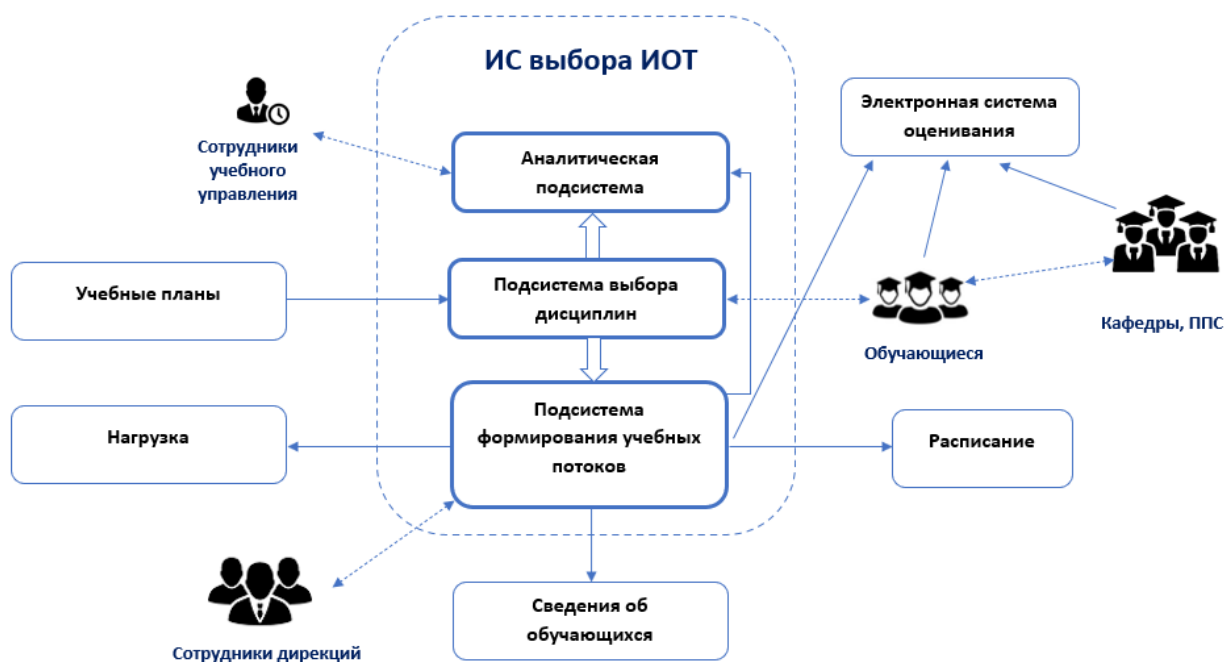


Рисунок 1 – Логическая структура информационной системы выбора индивидуальных образовательных траекторий

Подсистема выбора дисциплин будет предоставлять доступ обучающимся к выбору дисциплин в соответствии с учебными планами. Обучающийся сможет осуществить выбор для дисциплин (модулей) (Д.1, Д.2...Д.п), изучаемых в следующем учебном году из нескольких вариантов

(для Д.1 из ДВ.1.01, ДВ.1.02... ДВ.1.0п
для В.2 из ДВ.2.01, ДВ.2.02... ДВ.2.0п
.....
для Д.п из ДВ.N.01, ДВ.N.02... ДВ.N.0п).

На первом этапе выбора дисциплин все обучающиеся одного института (колледжа, филиала) осуществляют выбор дисциплин во взаимодействии с преподавателями выпускающей кафедры с учетом результатов освоения учебной программы в предыдущих периодах (результаты текущей учебной работы и промежуточной аттестации в электронной системе оценивания).

В результате выбора, студенты одного курса, в рамках дисциплины (модуля) распределяются в зависимости от выбора конкретного наименования дисциплины на несколько когорт. Если после выбора всех обучающихся количество обучающихся в каждой когорте, закрепленной за определенным наименованием дисциплины (модуля), больше установленного минимального значения, то процесс выбора по данной дисциплине завершается.

Если после осуществления выбора всеми участниками хотя бы в одной из когорт окажется количество обучающихся меньше установленного минимального значения, то для учащихся таких когорт в системе станет доступен второй этап выборов, в ходе которого данные обучающиеся выбирают только из тех дисциплин, численность обучающихся в когортах которых после первого этапа оказалась не менее минимально установленного значения.

Подсистема формирования учебных потоков.

После завершения выбора обучающимися дисциплин (модулей) администратор системы сможет активировать функцию автоматического формирования подгрупп и учебных потоков по дисциплинам по выбору.

Бизнес-логика автоматического формирования подгрупп

После инициации автоматического формирования подгрупп система для каждой академической группы сформирует количество подгрупп, равное количеству выбранных обучающимся вариантов дисциплины (модуля) в подсистеме выбора дисциплин и сопоставляет их с соответствующими дисциплинами.

Если реализация дисциплин требует ограничение на максимальное число обучающихся в подгруппе (ИТ-дисциплины, «языковые», естественно-научные, технические и др. дисциплины), то в случае, если количество студентов в подгруппе связанной с вариантом дисциплины окажется больше максимального возможного числа обучающихся, то дополнительно подгруппа должна быть разделена на две (или более) (рис. 2).

Бизнес-логика автоматического формирования учебных потоков

После завершения процесса формирования подгрупп в рамках академических групп в соответствии с выбором обучающимся вариантов дисциплин (модулей) администратор системы инициирует процесс формирования учебных потоков для реализации образовательного процесса по дисциплинам (модулям). После инициации автоматического формирования учебных потоков система по каждому выбранному варианту дисциплины (модуля) формирует учебные потоки отдельно по видам учебной нагрузки (лекции, практические работы, лабораторные работы) в соответствии с установленными ограничениями на максимальное число обучающихся в потоке. Все подгруппы, созданные на предыдущем этапе и ассоциированные с определенным вариантом дисциплины (модуля) должны быть «собраны» в учебный поток (потоки) с учетом установленных ограничений на размер потока (рис. 3).

Результаты формирования учебных потоков будут использованы в существующих подсистемах «Нагрузка» и «Расписание» для формирования учебной нагрузки преподавателей и составления расписания.

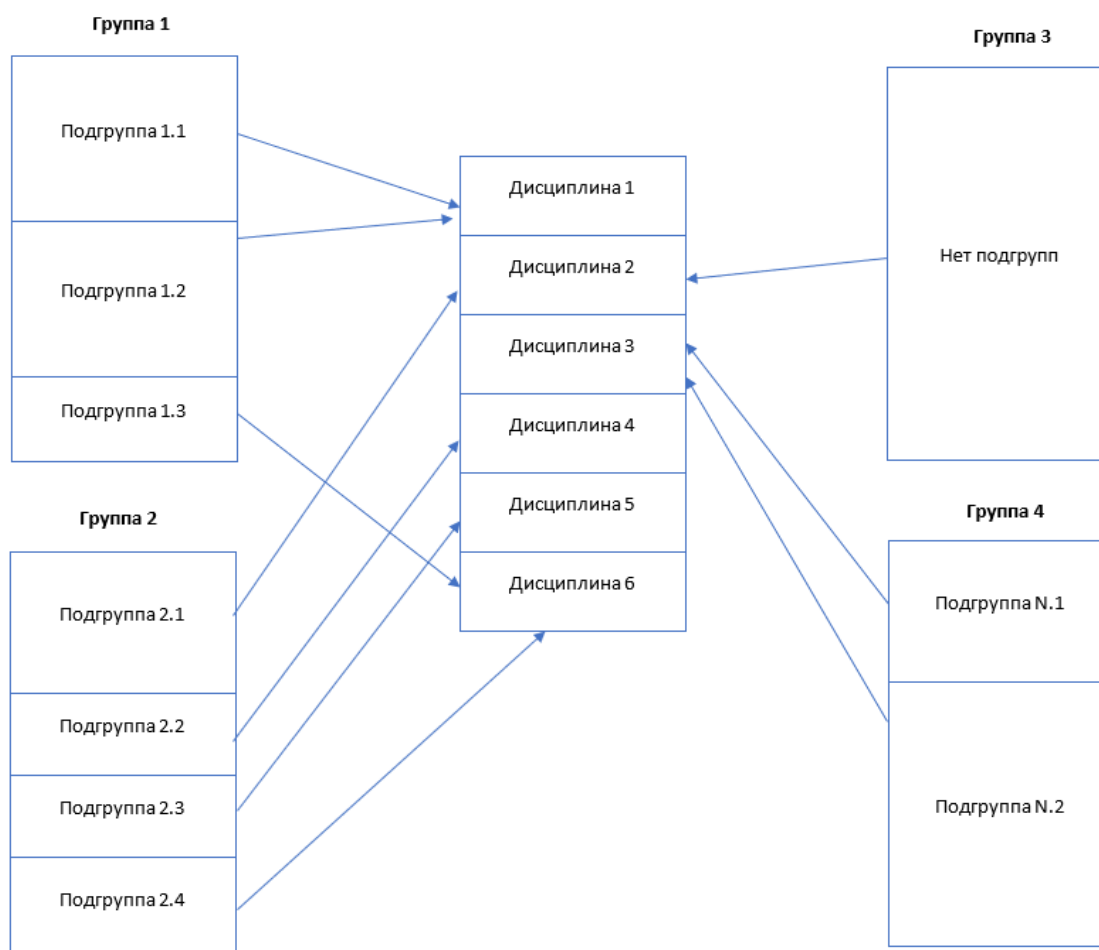


Рисунок 2 – Схема формирования подгрупп в соответствии с выбором обучающимися вариантов дисциплин (модулей)

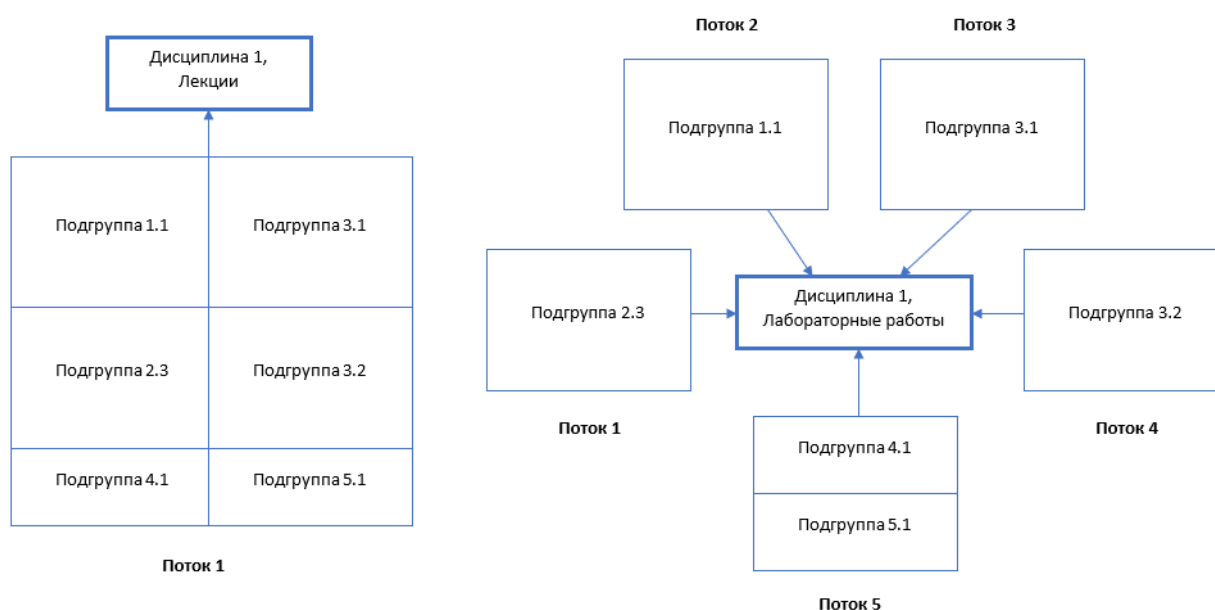


Рисунок 3 – Схема формирования учебных потоков в соответствии с выбором обучающимися вариантов дисциплин (модулей) и ограничениями по максимальному числу обучающихся в потоке по видам учебной нагрузки

Аналитическая подсистема

Функционал данной подсистемы должен обеспечить формирование отчетов:

- о ходе реализации и результатах выбора обучающимися дисциплин (модулей);
- о результатах формирования подгрупп и учебных потоков по дисциплинам (модулям).

Приведенные концепция и логическая структура станут основой для разработки информационной системы, которая автоматизирует и упростит процессы построения индивидуальных образовательных траекторий, формирования учебных потоков, нагрузки преподавателей и расписания занятий в соответствии с результатами выбора обучающимися определенных вариантов дисциплин (модулей).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон Российской Федерации от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174 (дата обращения: 03.05.2022).

2. Тишкина, К.О. Индивидуальная образовательная программа как инструмент персонализации образования / К. О. Тишкина, О. В. Елисеева, А. Ш. Багаутдинова [и др.] // Университетское управление: практика и анализ. – 2023. – Т. 27, № 1. – С. 34-41.

3. Пешкова, К. Е. Дифференциация и индивидуализация обучения как составляющие в формировании персональной образовательной траектории студента вуза / К. Е. Пешкова, С. Ю. Ситникова // Вопросы педагогики. – 2022. – № 4-1. – С. 220-225.

4. Духанин, М. М. Перспективы использования индивидуального образовательного маршрута обучающегося в информационно-образовательной среде вуза / М. М. Духанин // XII международная научно-практическая конференция молодых ученых, посвященная 61-ой годовщине полета Ю.А. Гагарина в космос: Сборник научных статей, Краснодар, 12–13 апреля 2022 года. – Краснодар: Общество с ограниченной ответственностью «Издательский Дом - Юг», 2022. – С. 380-384.

5. Кузьмина, Г. В. Построение индивидуальных траекторий обучения - новый объект деятельности / Г. В. Кузьмина, Г. А. Никитина // Современные проблемы образования в области физической культуры, безопасности жизнедеятельности и биологии: Материалы II Международной научной конференции, Екатеринбург, 14–15 марта 2022 года. – Екатеринбург: Уральский государственный педагогический университет, 2022. – С. 185-190.

6. Гребенникова, В.М. Проектирование индивидуального образовательного маршрута как совместная деятельность учащегося и педагога / В.М. Гребенникова, С.С. Игнатович // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 11. – С. 529–534.

7. Андрийчук, Л.Н. Использование информационных систем для реализации индивидуальных образовательных траекторий / Л. Н. Андрийчук, Е. В. Смык // Современные тенденции развития непрерывного образования: вызовы цифровой экономики: Материалы международной научно-методической конференции, Томск, 30–31 января 2020 года. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2020. – С. 100-101.

8. Заславский, А.А. Проектирование системы автоматизации построения персональных траекторий развития обучающихся / А. А. Заславский // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования. – 2019. – Т. 16, № 2. – С. 149-161.

9. Городецкая, Н. В. Разработка информационной системы поддержки выбора индивидуальной образовательной траектории студентом / Н. В. Городецкая, С. В. Сермягин // . – 2017. – № 2. – С. 22.

10. Макаров, С. О. Индивидуальные образовательные траектории: компетенции и информационная система университета / С. О. Макаров, Д. Г. Решетников, В. Н. Сушин // Новые информационные технологии в образовании и науке: Материалы X международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 27 февраля – 03 марта 2017 года. – Екатеринбург: Российский государственный профессионально-педагогический университет, 2017. – С. 80-84.

11. Горнева, Е. А. Автоматизация управления образовательными траекториями студентов вузов на основе систем поддержки принятия решений / Е. А. Горнева // Education & Science - 2017: Материалы III Международной научно-практической конференции для работников науки и образования, Saint-Louis, Missouri, USA, 31 марта 2017 года / Научные редакторы Е.Ю. Бобкова, Т.А. Магсумов, Я.А. Максимов. – Saint-Louis, Missouri, USA: Publishing House Science and Innovation Center, Ltd., 2017. – С. 40-43.

Константинов Игорь Сергеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Д.т.н., заведующий кафедрой математического и программного обеспечения информационных систем
Тел.: +7(4722) 30-13-22
E-mail: konstantinov@bsu.edu.ru

Беленко Владимир Алексеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
К.ф.м-н., доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий
Тел.: +7(4722) 24-55-80
E-mail: vbelenko@bsu.edu.ru

Немцев Александр Николаевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
К.ф.м-н., доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий
Тел.: +7(4722) 30-14-80
E-mail: nemzev@bsu.edu.ru

Беленко Татьяна Владимировна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
К.п.н., доцент кафедры российской истории и документоведения
Тел.: +7(4722) 30-18-79
E-mail: belenko_t@bsu.edu.ru

УДК 004.8

А.В. КРОТОВА, Т.А. ЛЫСАКОВА, Т.В. ЗАЙЦЕВА, Н.П. ПУТИВЦЕВА, Е.С. БУГАЕВА
A.V. KROTOVA, T.A. LYSAKOVA, T.V. ZAITSEVA, N.P. PUTIVTSEVA, E.S. BUGAeva

РАБОТА МОДУЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПРОВЕРКИ ДОКУМЕНТОВ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА «КОРОЛЕВ» В СЭД НИУ «БелГУ»

THE WORK OF THE MODULE OF INTELLECTUAL VERIFICATION OF DOCUMENTS BASED ON THE ALGORITHM «KOROLEV» IN THE EDMS OF THE NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY «BelSU»

В данной статье авторы освещают работу модуля интеллектуальной проверки официальной документации НИУ «БелГУ», которая основано на от Яндекса «Королев». Также описаны примеры работы алгоритма по запросам из сети Интернет в поисковике Яндекс

Ключевые слова: интеллектуальный; модуль; нейросеть; проверка; Королев; Яндекс

In this article, the authors highlight the work of the module of intellectual verification of the official documentation of the National Research University «BelSU», which is based on the Yandex «Korolev». Examples of how the algorithm works for Internet queries in the Yandex search engine are also described

Keywords: intelligent; module; neural network; verification; Korolev; Yandex

Модуль интеллектуальной проверки дублирования поручений основан на нейронных сетях и алгоритме «Королев», как в Яндексе.

Работа с модулем будет происходить следующим образом. Пользователь будет проходить авторизацию в автоматизированной системе, используемой НИУ «БелГУ» под названием «Инфо-БелГУ: Документооборот/Дело», рисунок 1.

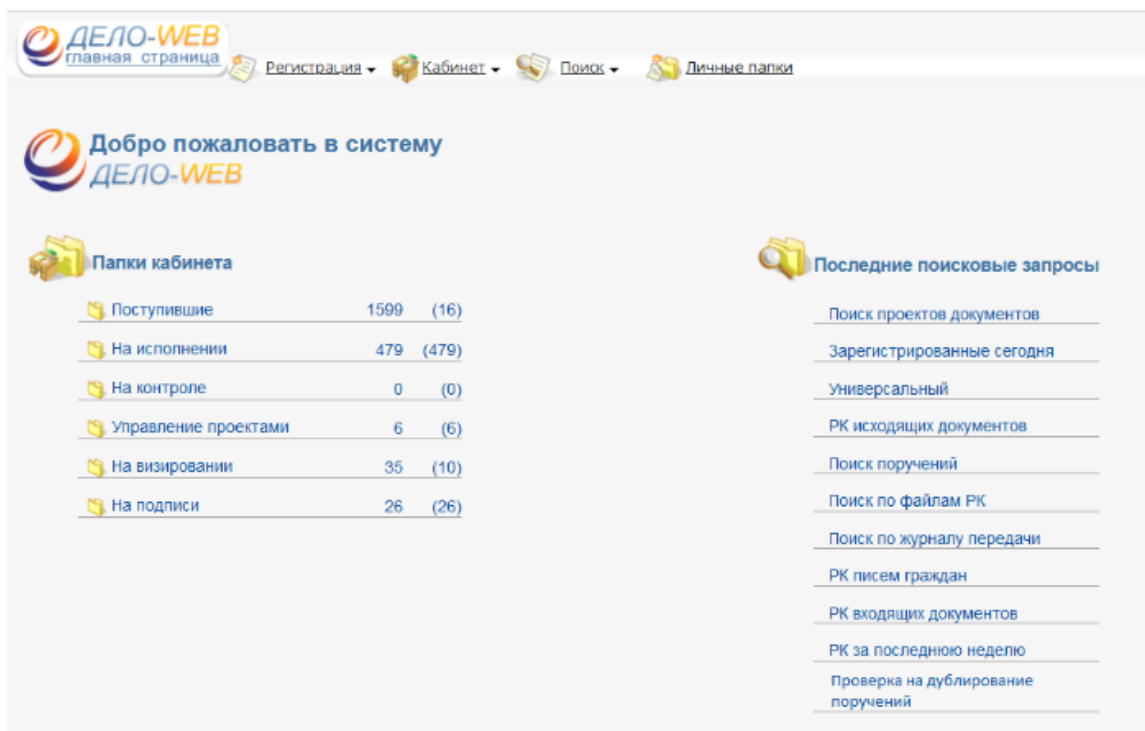


Рисунок 1 – Система «ИнфоБелГУ:Документооборот/Дело»

После авторизации на главной странице будет кнопка «Проверка на дублирование поручений». Необходимо будет по ней кликнуть и перейти в модуль проверки документов, рисунок 2.



«ИнфоБелГУ: Документооборот/Дело»

Проверить документ

Выберите тип загружаемого документа:	Приказ
Введите название документа:	О принятии мер к подготовке прс
Выберите дату создания документа:	03 . 04 . 2023
Выберите дату исполнения документа:	28 . 04 . 2023
Введите поручение:	Провести инструктаж работни
Введите поручение:	Провести инструктаж руководи
Введите поручение:	Предоставить отчет о проведе
<input type="button" value="Отправить"/> <input type="button" value="Очистить"/>	

Результат проверки документа

№ п/п	Тип документа	Название документа	Процент совпадения	Ключевые слова
1.	Приказ	О принятии мер к антитеррористическим действиям	40%	Провести инструктаж работников Провести инструктаж руководителей
2.	Приказ	О принятии мер против коронавирусной инфекции	20%	Предоставить отчет о проведении инструктажа

[Ресурс департамента образовательной политики](#)

Разработка и техническая поддержка: E-mail: DekanatAdm@bsu.edu.ru

Рисунок 2 – Модуль интеллектуальной проверки документов

Далее пользователю необходимо будет внести в форму такие данные из приказа/распоряжения как: тип загружаемого документа, название документа, дату создания документа, дату исполнения документа, а также все поручения из документа полностью и отправить на проверку. После проверки поля формы можно очистить, нажав кнопку «Очистить».

Проверка поручения основана на алгоритме «Королев» от компании Яндекс [1]. Пользователь вносит данные документа, как уже говорилось выше. Данные запроса разбиваются на слова, словосочетания нейросетью и сравниваются с теми данными, которые уже имеются в системе. Алгоритм «Королев»

Был создан на основе предшествующего алгоритма от Яндекс под названием «Палех». Стоит из нескольких этапов, который с каждым разом усложняются, рисунок 3. На каждом из этапов документы упорядочиваются и лучшие проходят в следующие этапы. На входной слой в нейросети подается запрос (в нашем случае это данные формы модуля). Далее данные каждого поля разбиваются на слова и словосочетания, как и уже имеющиеся данные в модуле. После того как данные разбиты начинается их линейные преобразования для перехода к скрытым слоям нейросети при помощи. В трех скрытых слоях происходят нелинейные преобразования (семантическое сравнение) запроса и имеющихся данных [2]. На выходе получаем наиболее совпадающие по смыслу слова и фразы из документа. Принцип работы алгоритма «Королев».

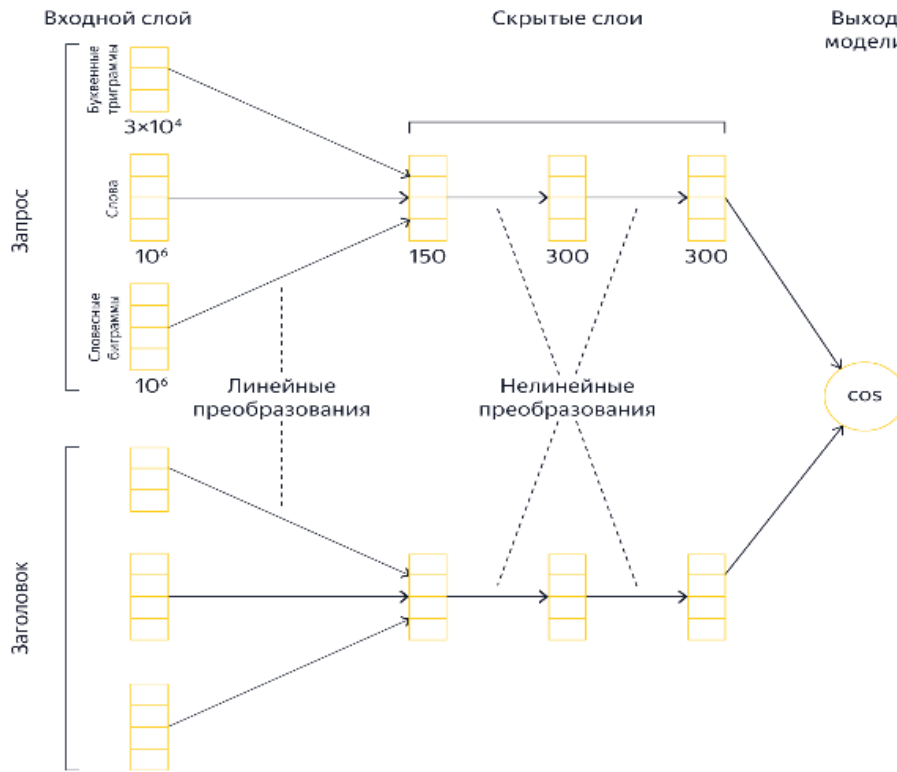


Рисунок 3 – Этапы работы алгоритма

Таким образом, будет происходить работа с модулем, а также проверка на дублирование. Пример работы алгоритма «Королёв» на практике от Яндекса. В качестве примера приведем запрос, который рекламировал Яндекс:

1. [картина где небо закручивается], рисунок 4

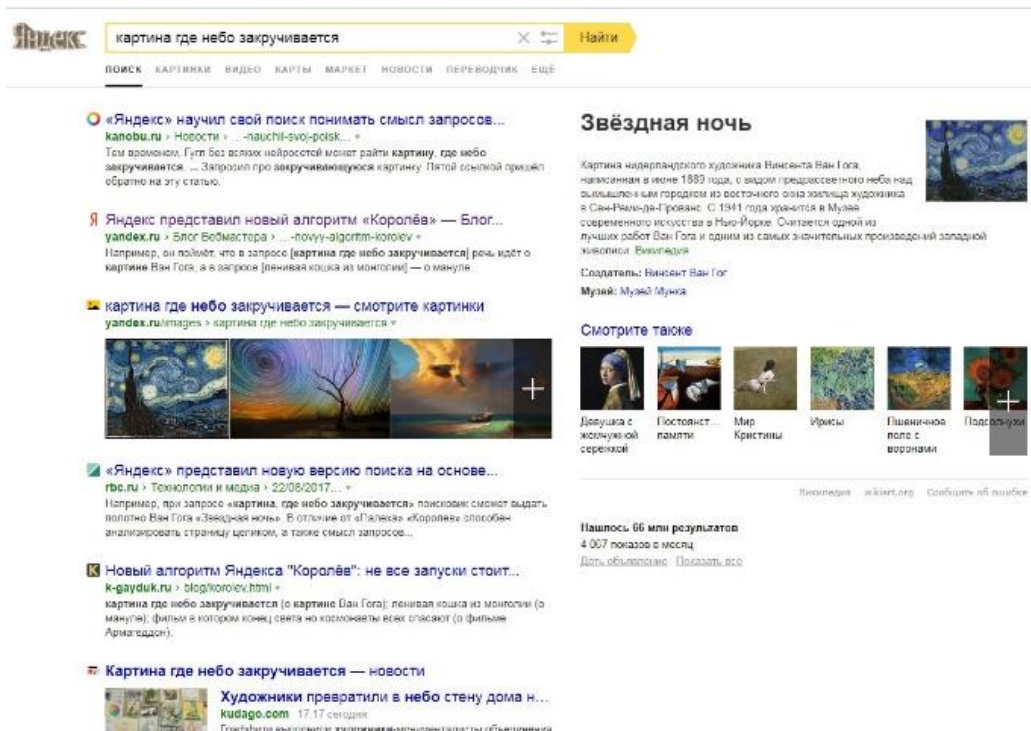


Рисунок 4 – Картина где небо закручивается

В объектных ответах справа Яндекс правильно определил, что мы подразумевали своим запросом. Он также указал верные ответы в Яндекс.Картинках [3]. Остальная выдача состоит из новостей о новом алгоритме. Становится очевидным: в данной ситуации Яндекс пользуется традиционными методами определения релевантности и для выдачи алгоритм «Королёв» не работает.

Теперь попробуем набрать запрос:

2. [фильм в котором траволта танцует], рисунок 5.

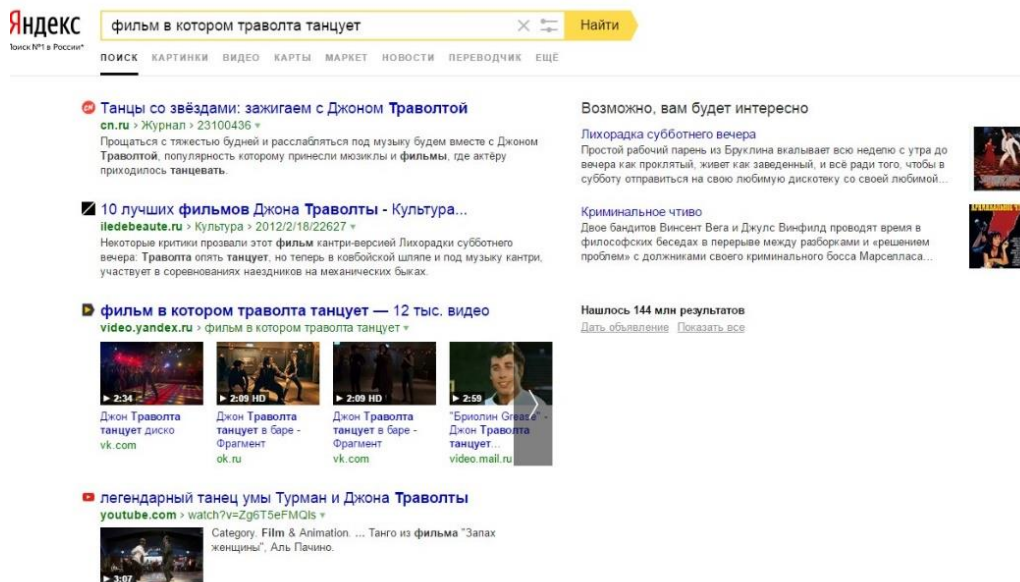


Рисунок 5 – Фильм в котором Траволта танцует

Варианты с наиболее популярными фильмами есть в объектных ответах, но не в выдаче.

Ответы становятся более конкретными, если модифицировать запрос:

3. [фильм в котором Траволта танцует в баре], рисунок 6.

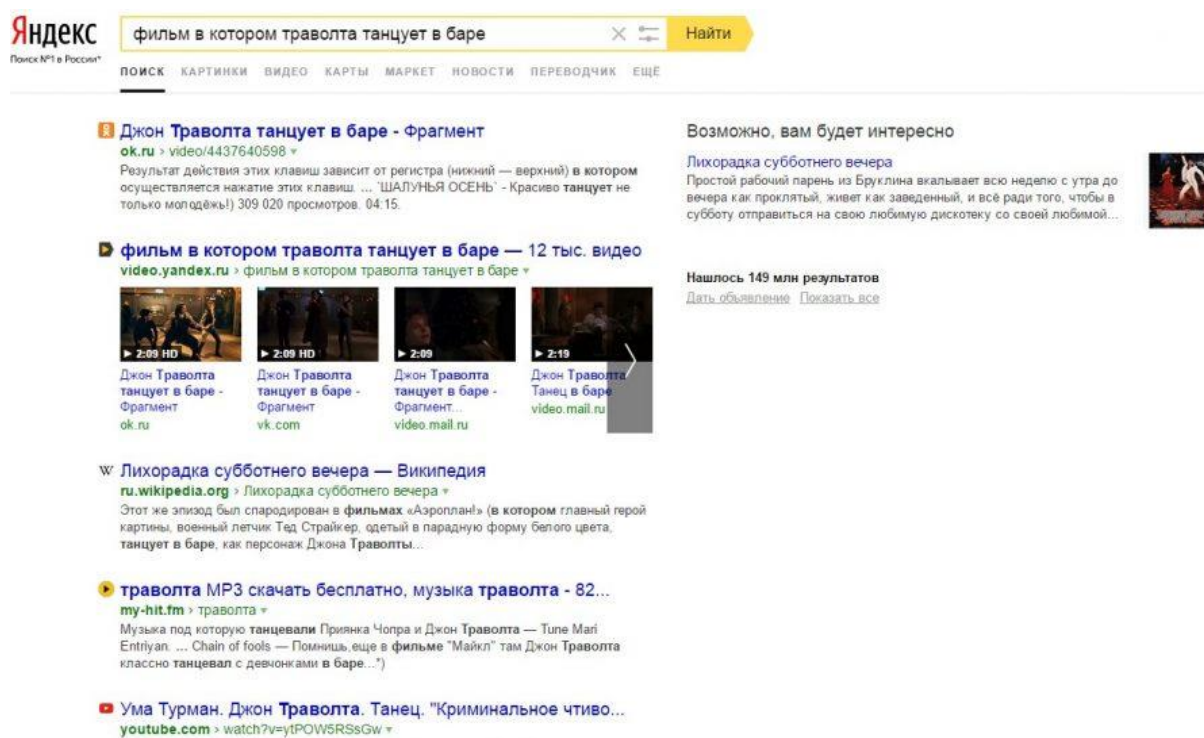


Рисунок 6 – Фильм в котором траволта танцует в баре

Как мы видим, алгоритм даёт сбой. Это происходит потому, что на данный запрос крайне сложно дать однозначный ответ. Например, в фильме «Криминальное чтиво» танцы происходят в ресторане, в фильме «Лихорадка субботнего вечера» — в клубе. Но есть фильм «Майкл», в котором Траволта как раз танцует в баре. Если несколько раз протестировать выдачу с целью найти необходимый фильм, начнут появляться релевантные результаты, рисунок 7.

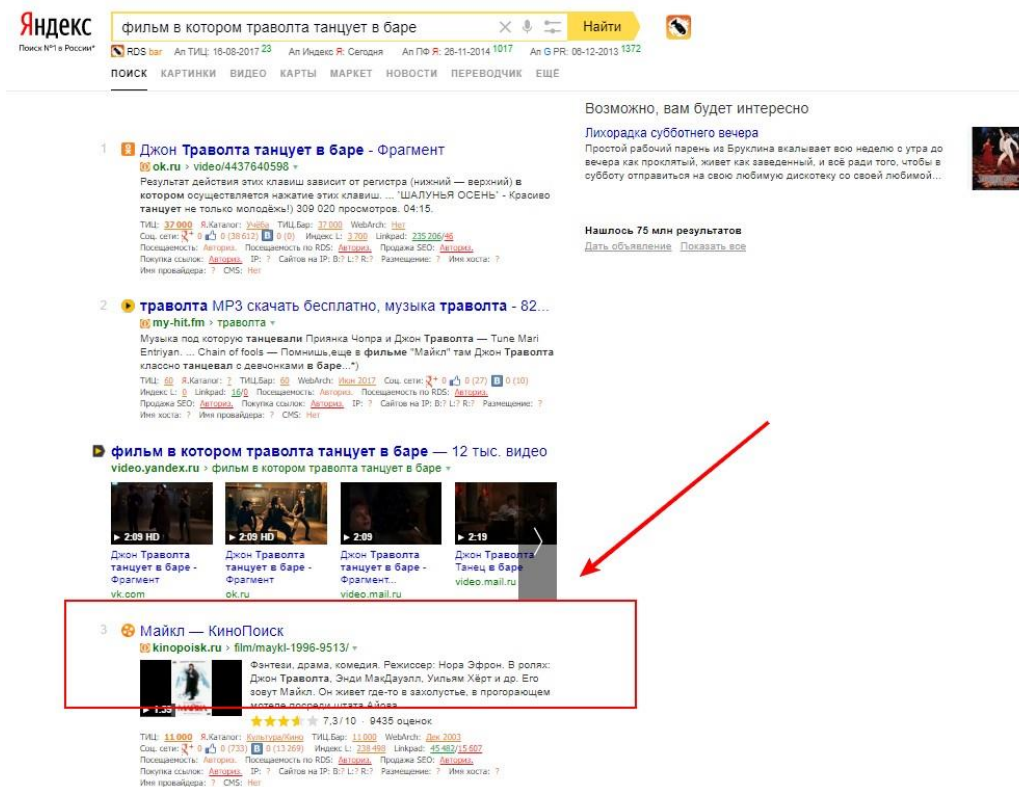


Рисунок 7 – Результаты запроса

Таким образом была показана работа модуля интеллектуальной проверки документов, а также описаны примеры работы алгоритма «Королев» от Яндекса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Как Яндекс научил искусственный интеллект понимать смысл документов [Электронный ресурс] / Хабр — Электрон. текстовые дан. — Режим доступа: <https://habr.com/ru/company/yandex/blog/336094/>.
2. АЛГОРИТМ ЯНДЕКСА «КОРОЛЁВ» [Электронный ресурс] / Пиксель Плюс Интернет-агентство — Электрон. текстовые дан. — Режим доступа: <https://pixelplus.ru/samostoyatelno/stati/algorithmy-ranzhirovaniya/algorithm-korolev-yandex.html?ysclid=lfdu506oz2663859791>.
3. «Королёв»: действие алгоритма на практических примерах [Электронный ресурс] / SEO-Блог SiteClinic — Электрон. текстовые дан. - Режим доступа: <https://siteclinic.ru/blog/raznoe/algorithm-yandexa-korolev/>.

Кротова Анастасия Валериевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (НИУ «БелГУ»), г. Белгород
делопроизводитель кафедры прикладной информатики и информационных технологий
Тел.: +7 (980) 329-69-76
E-mail: krotova@bsu.edu.ru

Лысакова Татьяна Алексеевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (НИУ «БелГУ»), г. Белгород
старший преподаватель кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Тел.: +7 (908) 789-13-99

E-mail: lysakova@bsu.edu.ru

Путивцева Наталья Павловна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (НИУ «БелГУ»), г. Белгород
к.т.н, доцент, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Тел.: +7 (909) 201-15-82

E-mail: putivzeva@bsu.edu.ru

Зайцева Татьяна Валентиновна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (НИУ «БелГУ»), г. Белгород
к.т.н, доцент, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Тел.: +7 (958) 645-91-73

E-mail: zaitseva@bsu.edu.ru

Бугаева Екатерина Сергеевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (НИУ «БелГУ»), г. Белгород
старший преподаватель кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Тел.: +7 (903) 642-12-97

E-mail: brusnitsina@bsu.edu.ru

УДК 614.254.1: 004.415

А.С. ЛЕБЕДЕВА, В.И. СТЕКЛОВА
A.S. LEBEDEVVA, V.I. STEKLOVA**ВЫБОР СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ****THE USE OF ANALYTICAL HIERARCHICAL PROCEDURE
FOR THE CHOICE OF LEARNING MANAGEMENT SYSTEM**

В данной статье авторы рассматривают текущую ситуацию организации дистанционного обучения, классы систем, используемые в образовательном процессе. На основе проведенного анализа были выделены ключевые характеристики систем дистанционного обучения (СДО), целесообразные для организации учебного процесса. Эти характеристики выступили в качестве критериев для проведения многокритериального сравнения на основе метода анализа иерархий с использованием СППР «Решение».

Ключевые слова: системы дистанционного обучения (СДО); многокритериальное оценивание; метод анализа иерархий; СППР «Решение»

In this article the authors consider the current situation of organization of distance learning, classes of systems used in the educational process. Based on the analysis, the key features of distance learning systems (DLS) suitable for the organization of the training process were identified. These characteristics served as criteria for multi-criteria comparison based on the method of hierarchy analysis using DSS «Reshenie».

Keywords: distance learning systems (DLS); multi-criteria evaluation; method of hierarchy analysis; DSS «Reshenie»

Современные реалии привели к тому, что отдельные регионы вводят дистанционное обучение в учебных заведениях разных уровней образования: школах, колледжах, университетах. Это требует использования для организации процесса онлайн-обучения соответствующих информационных систем. Для решения указанных проблем учебными заведениями разного уровня образования используются разные подходы. Так, для обучения школьников (и иногда студентов колледжа) используются образовательные платформы, в которых загружается теоретический материал учебных предметов, задания, тестовый материал (ЯКласс, ЛЕСТА, Сферум и др.). Для организации дистанционного обучения (ДО) в колледжах и университетах используются информационные системы ДО. Учебные заведения при этом могут адаптировать под особенности своей работы существующие системы дистанционного обучения (например, Moodle) либо внедрять собственные разработки. Для проведения занятий заведения могут использовать сервисы для проведения онлайн-конференций (Яндекс Телемост, Discord, Zoom и др.), но проведение тестирования, возможность размещения выполненных студентами заданий требует использования специализированных систем [1, 3, 5].

В качестве таких специализированных систем могут выступать системы дистанционного обучения. Анализ литературных источников и ресурсов сети Интернет показал, что выделяют два класса систем: система управления обучением LMS (Learning Management System) и система дистанционного обучения (СДО). Существуют определенные различия между этими классами систем [2, 7].

LMS (Learning Management System) или система управления обучением — это системы, позволяющие создавать онлайн-курсы, управлять курсами и обучать слушателей курсов, предоставляя пользователям доступ к материалам, тестам и т.д. LMS позволяют управлять процессом обучения слушателей. К их возможностям можно отнести возможность открытия доступа пользователей к обучающему контенту в нужном порядке, проверки и отслеживания знаний обучающихся, а также самостоятельного создания критериев для оценивания результатов. Системы LMS чаще всего используются для корпоративного обучения сотрудников организаций. Они представляют собой высокоэффективный инструмент, позволяющий организациям увеличить прибыль, сэконо-

мать время и оптимизировать взаимодействие руководства и сотрудников. Целью внедрения LMS является организация управления процессом обучения, отслеживание прогресса изучения материалов и развития обучающихся по всем типам мероприятий, администрирование учебных курсов в рамках взаимодействия между преподавателями и обучающимися между собой на расстоянии. LMS помогает организовать очную, дистанционную, индивидуальную и групповую формы обучения за счет использования различных форм коммуникации: онлайн-трансляции, форумы, чаты и рассылки [7].

Система дистанционного обучения (СДО) — это совокупность организационных, телекоммуникационных и педагогических ресурсов, обеспечивающих вовлеченность в создание и практическое осуществление образовательных программ с использованием технологии дистанционного обучения (ДО). Цель СДО — систематизация и организация взаимодействия преподавателей и обучающихся посредством интернет-технологий, поскольку дистанционное обучение исключает очные форматы [7].

Как показал проведенный библиографический анализ, на рынке представлено достаточно большое количество отечественных и зарубежных, платных и бесплатных систем дистанционного обучения. На основе проведенного анализа функциональных особенностей систем и особенностями проведения обучения в онлайн-формате были сформулированы следующие характеристики, используемые в качестве критериев при выборе наиболее подходящей для организации дистанционного обучения систем [5-7]:

- Поддержка сборника спецификаций и стандартов, разработанный для систем дистанционного обучения Scorm;
- Наличие отчетности (модуль с анализом данных);
- Функция управления группой обучающихся;
- Наличие бесплатного контента;
- Удобство интерфейса;
- Доступность для лиц с ограниченными возможностями здоровья;
- Возможность интеграции;
- Наличие функции планирования.

В качестве альтернатив были выбраны следующие системы: Moodle, iSpring, Open Edx, Canvas, Microsoft Teams, Google Classroom. Иерархия выбора имеет следующий вид:

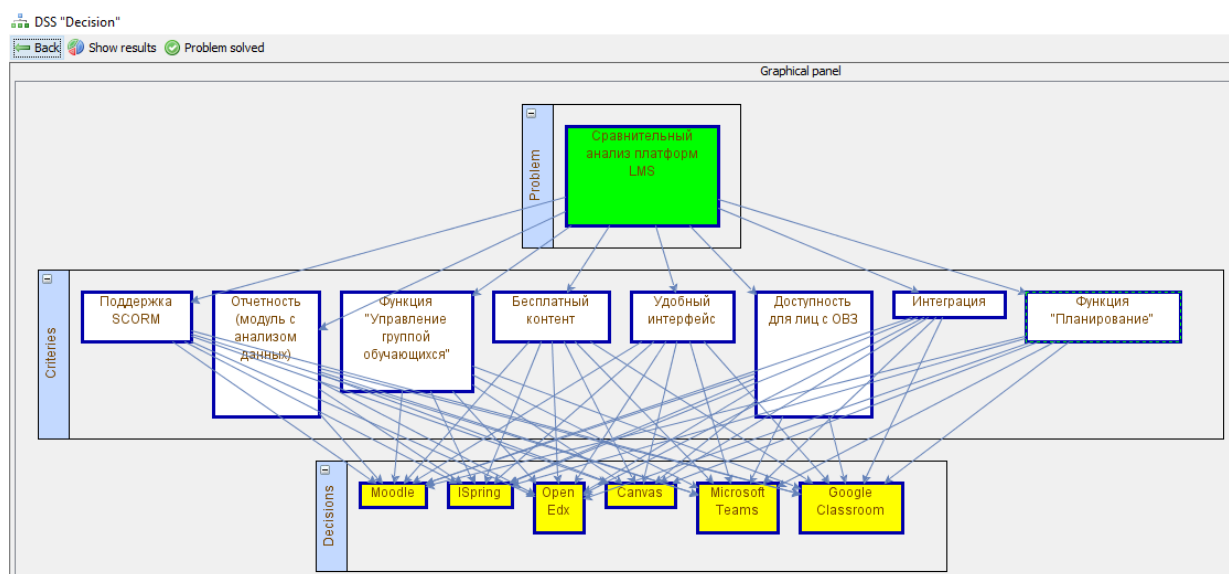


Рисунок 1 – Иерархия выбора СДО

Первым этапом было сравнение критериев по их важности для выбора.

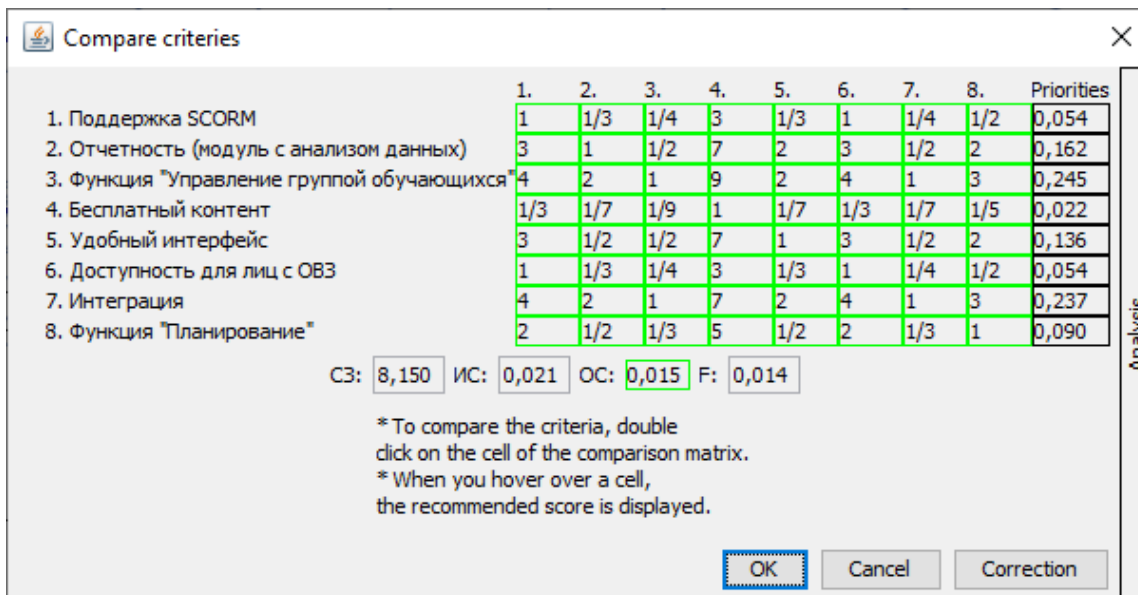


Рисунок 2 – Матрица парных сравнений критериев

Матрица является согласованной, поскольку ОС (оценка согласованности) 1,5% (допускается не больше 10%). Анализ рассчитанного вектора локальных приоритетов критериев показал, что наибольшие значения у третьей, седьмой, второй и пятый компоненты вектора. На основе этого были сделаны выводы, что наиболее важными являются критерии Функция управления группой обучающихся, Интеграция, Отчетность, Удобство интерфейса.

После этого альтернативы сравнивались попарно по каждому из критериев, характеризующая степень выраженности в рассматриваемых системах выделенных характеристик.

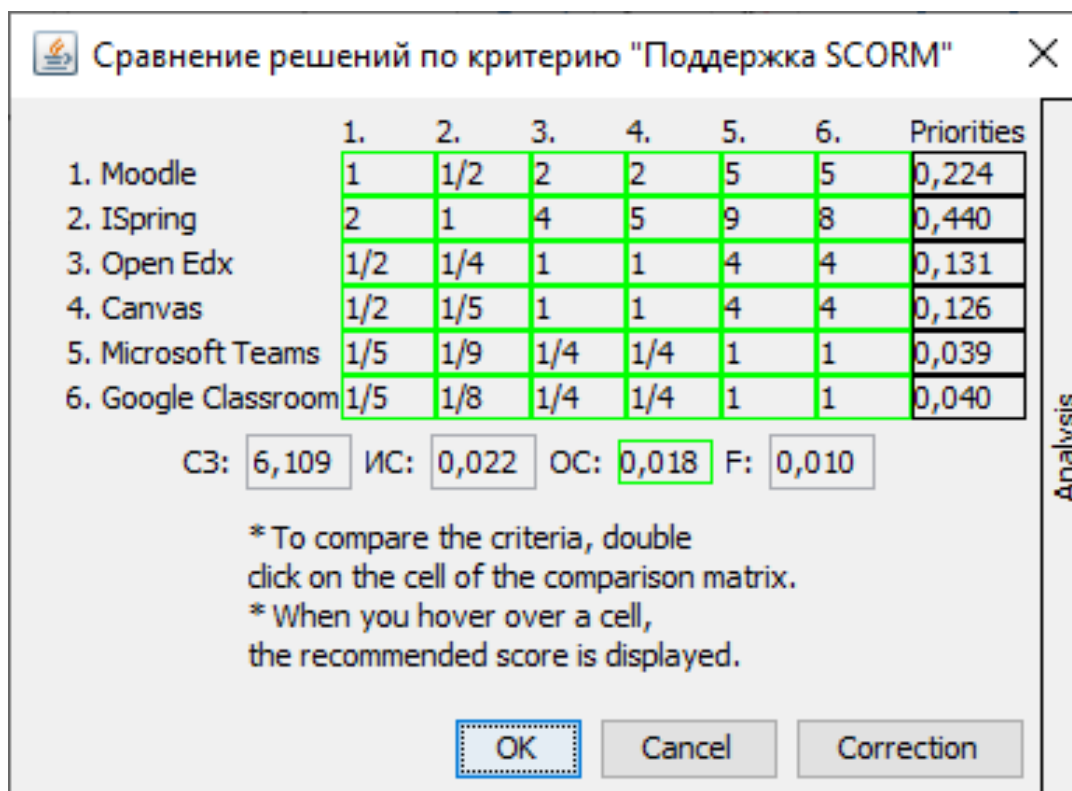
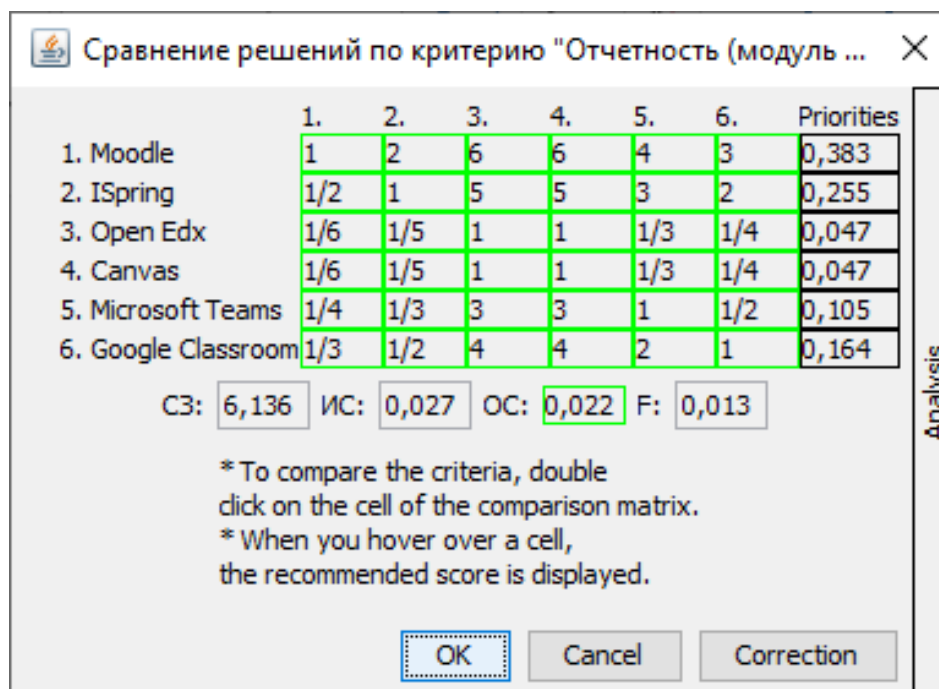


Рисунок 3 – Матрица парных сравнений СДО по критерию «Поддержка SCORM»

Поддержка Scorm наилучшим образом представлена в iSpring и Moodle, поскольку приоритеты этих СДО имеют наибольшие значения в векторе локальных приоритетов альтернатив.

Аналогичным образом СДО сравнивались по каждому из критериев сравнения (выделенным характеристикам).



	1.	2.	3.	4.	5.	6.	Priorities
1. Moodle	1	2	6	6	4	3	0,383
2. iSpring	1/2	1	5	5	3	2	0,255
3. Open Edx	1/6	1/5	1	1	1/3	1/4	0,047
4. Canvas	1/6	1/5	1	1	1/3	1/4	0,047
5. Microsoft Teams	1/4	1/3	3	3	1	1/2	0,105
6. Google Classroom	1/3	1/2	4	4	2	1	0,164

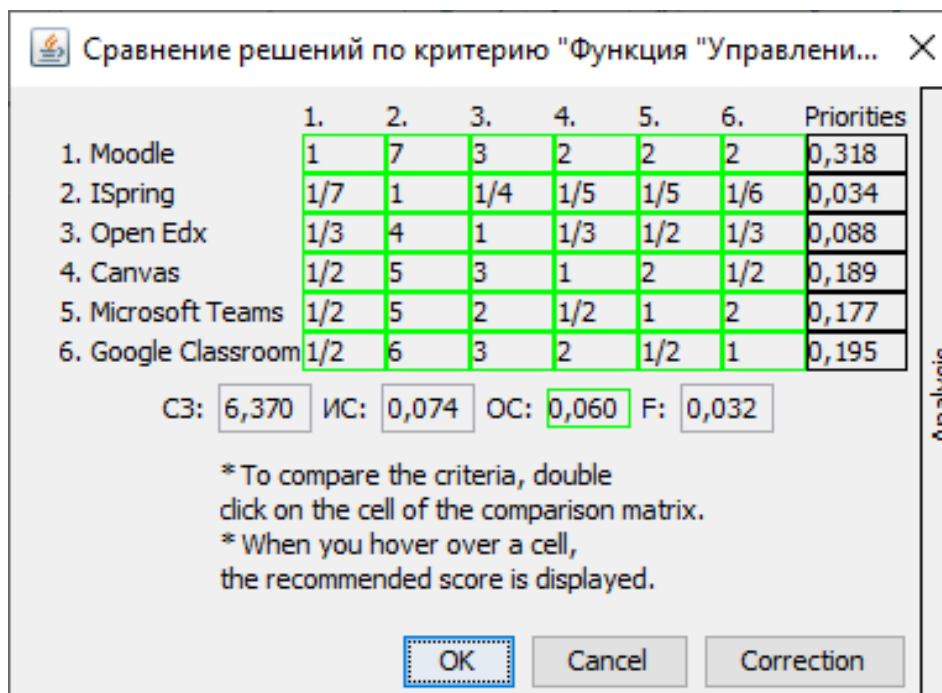
C3: 6,136 IC: 0,027 OC: 0,022 F: 0,013

* To compare the criteria, double click on the cell of the comparison matrix.
 * When you hover over a cell, the recommended score is displayed.

OK Cancel Correction

Рисунок 4 – Матрица парных сравнений СДО по критерию «Отчетность»

Отчетность наилучшим образом реализована в системах Moodle, iSpring и Google Classroom.



	1.	2.	3.	4.	5.	6.	Priorities
1. Moodle	1	7	3	2	2	2	0,318
2. iSpring	1/7	1	1/4	1/5	1/5	1/6	0,034
3. Open Edx	1/3	4	1	1/3	1/2	1/3	0,088
4. Canvas	1/2	5	3	1	2	1/2	0,189
5. Microsoft Teams	1/2	5	2	1/2	1	2	0,177
6. Google Classroom	1/2	6	3	2	1/2	1	0,195

C3: 6,370 IC: 0,074 OC: 0,060 F: 0,032

* To compare the criteria, double click on the cell of the comparison matrix.
 * When you hover over a cell, the recommended score is displayed.

OK Cancel Correction

Рисунок 5 – Матрица парных сравнений СДО по критерию «Функция управления группой обучающихся»

Функция управления группой обучающихся наилучшим образом реализована в LMS Moodle, Google Classroom и Canvas.

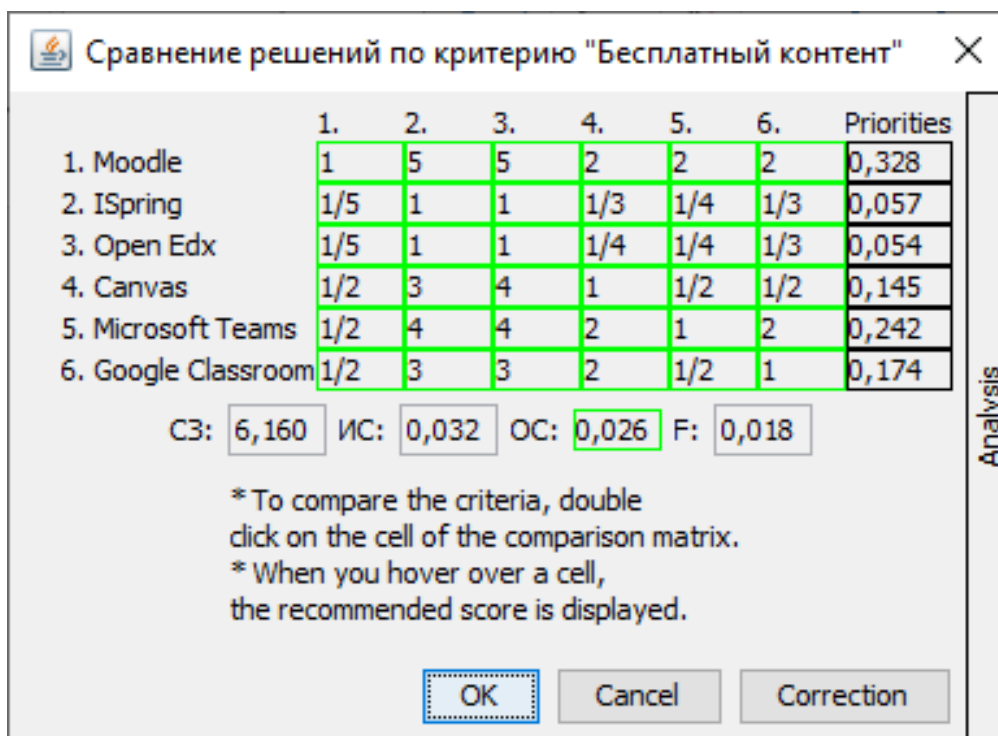


Рисунок 6 – Матрица парных сравнений СДО по критерию «Бесплатный контент»

По бесплатному контенту лидируют системы Moodle, Microsoft Teams, Google Classroom.

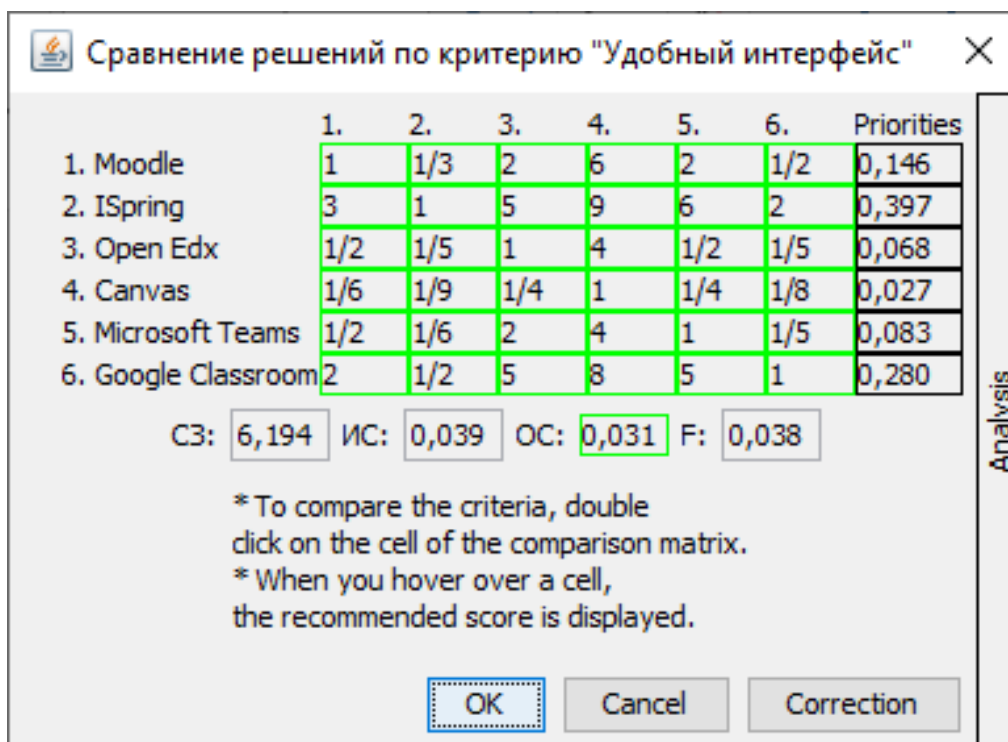
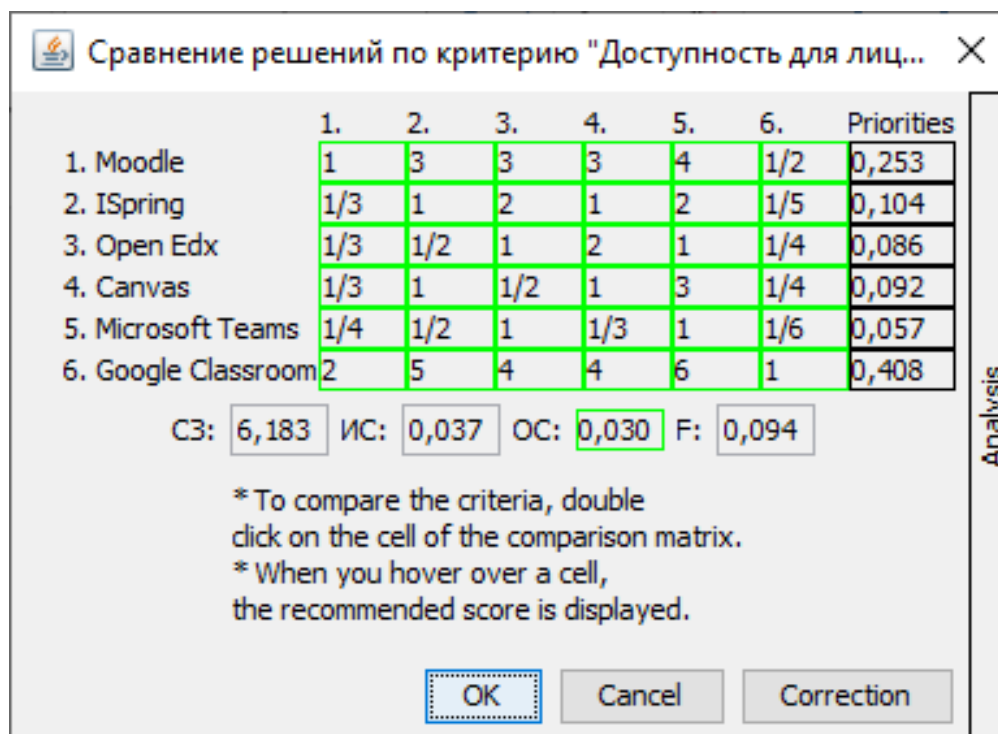


Рисунок 7 – Матрица парных сравнений СДО по критерию «Удобный интерфейс»

Наиболее удобен интерфейс у LMS iSpring, Google Classroom, Moodle.



	1.	2.	3.	4.	5.	6.	Priorities
1. Moodle	1	3	3	3	4	1/2	0,253
2. ISpring	1/3	1	2	1	2	1/5	0,104
3. Open Edx	1/3	1/2	1	2	1	1/4	0,086
4. Canvas	1/3	1	1/2	1	3	1/4	0,092
5. Microsoft Teams	1/4	1/2	1	1/3	1	1/6	0,057
6. Google Classroom	2	5	4	4	6	1	0,408

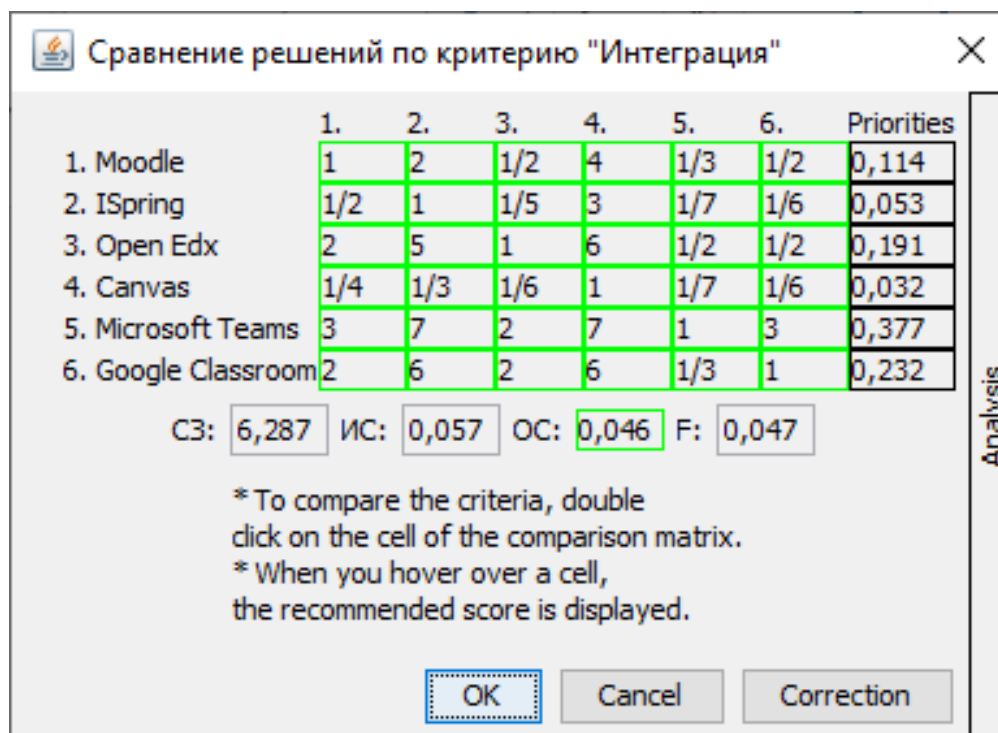
C3: 6,183 IC: 0,037 OC: 0,030 F: 0,094

* To compare the criteria, double click on the cell of the comparison matrix.
 * When you hover over a cell, the recommended score is displayed.

OK Cancel Correction

Рисунок 8 – Матрица парных сравнений СДО по критерию «Доступность для лиц с ОВЗ»

Наиболее доступными для лиц с ОВЗ являются Google Classroom, Moodle.



	1.	2.	3.	4.	5.	6.	Priorities
1. Moodle	1	2	1/2	4	1/3	1/2	0,114
2. ISpring	1/2	1	1/5	3	1/7	1/6	0,053
3. Open Edx	2	5	1	6	1/2	1/2	0,191
4. Canvas	1/4	1/3	1/6	1	1/7	1/6	0,032
5. Microsoft Teams	3	7	2	7	1	3	0,377
6. Google Classroom	2	6	2	6	1/3	1	0,232

C3: 6,287 IC: 0,057 OC: 0,046 F: 0,047

* To compare the criteria, double click on the cell of the comparison matrix.
 * When you hover over a cell, the recommended score is displayed.

OK Cancel Correction

Рисунок 9 – Матрица парных сравнений СДО по критерию «Интеграция»

По критерию Интеграция наилучшими являются LMS системы Microsoft Teams, Google Classroom, Open Edx.

На финальном этапе был вычислен вектор глобальных приоритетов альтернатив, показывающий предпочтительность альтернативных СДО для реализации онлайн-обучения.

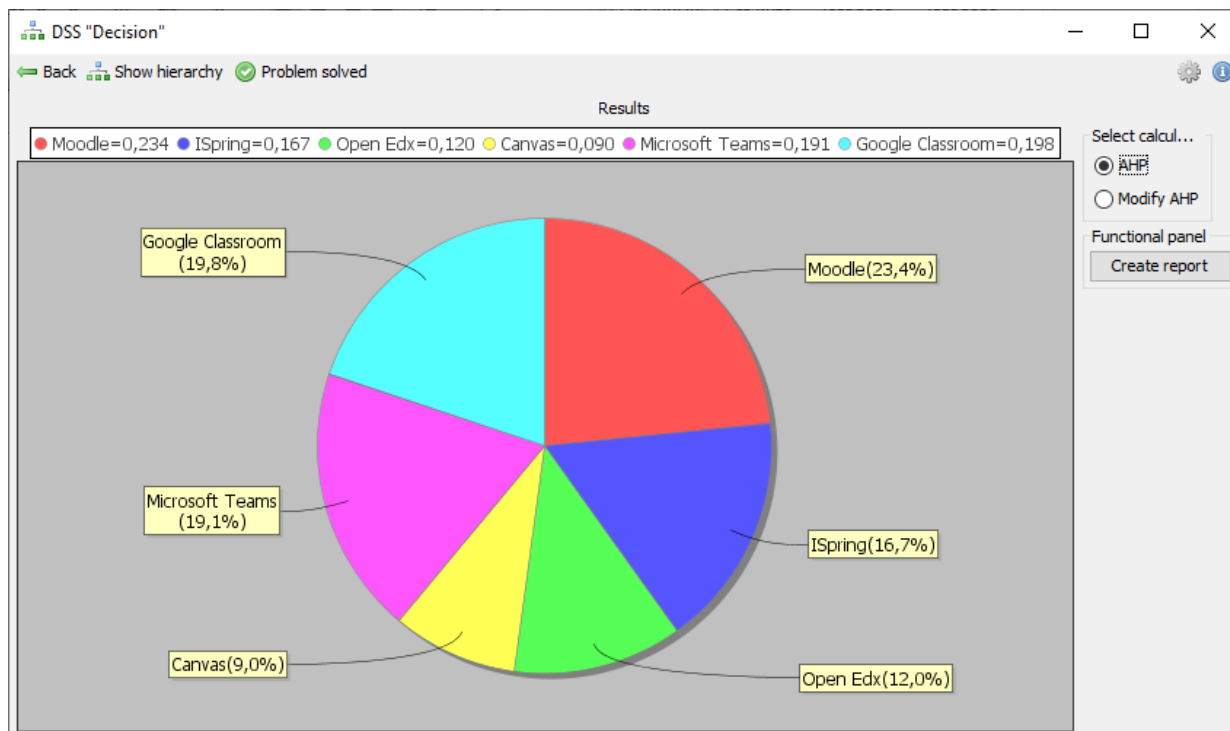


Рисунок 10 – Вектор глобальных приоритетов СДО

Анализ рисунка 10 показал, что наиболее предпочтительной с приоритетом 23,4% является система Moodle. Следующей системой по предпочтительности оказалась Google Classroom с приоритетом 19,8%. Немного уступает ему Microsoft Teams (19,1%).

Выводы

Рассмотрена проблема внедрения систем дистанционного обучения для организации учебного процесса, определены два класса систем и их различия. Были проанализированы наиболее популярные системы СДО, применяемые в корпоративном обучении и образовательном процессе. На основе анализа их функционала были определены критерии для сравнения СДО. Поскольку выделенные характеристики систем имеют разную важность при организации дистанционного обучения, было решено использовать для сравнения многокритериальный метод – метод анализа иерархий, позволяющий учитывать разную степень предпочтительности альтернативных вариантов по каждому из критериев сравнения. Было проведено многокритериальное сравнение СДО с использованием СППР «Решение». Было определено, что при выборе СДО наиболее важными критериями являются, Интеграция, Отчетность, Удобство интерфейса.

По этим критериям наиболее предпочтительны следующие СДО: по критерию Функция управления группой обучающихся – Moodle, Google Classroom, Canvas; по критерию Интеграция - Microsoft Teams, Google Classroom, Open Edx, по критерию Отчетность – Moodle, iSpring, Google Classroom, по критерию Удобство интерфейса – iSpring, Google Classroom, Moodle.

Расчет вектора глобальных приоритетов позволил получить наиболее подходящие для использования СДО: наиболее предпочтительной с приоритетом 23,4% является система Moodle. Следующей системой по предпочтительности оказалась Google Classroom с приоритетом 19,8%. Немного уступает ему Microsoft Teams (19,1%).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инновационные модели организации обучения с использованием дистанционных образовательных технологий //официальный сайт академия ФСИИ России. URL: http://apufsin.ru/service/omumr/pdf/Innovac_model%20Dot.pdf (дата обращения: 05.05.2023)
2. Инновации в образовании: дистанционное обучение: методическое пособие / И.Б. Мылова, В.Л. Матвеев, А.И. Мочкина, Т.М. Прокофьева; под ред.: И.Б. Мыловой. – СПб.: СПбАППО, 2009. – 99 с.
3. 8 систем дистанционного обучения: какую выбрать школе, репетитору, тренеру? URL: <https://www.eduneo.ru/3-besplatnye-sistemy-distancionnogo-obucheniya-obzor/> (дата обращения: 05.05.2023)
4. Никуличева Н.В. Внедрение дистанционного обучения в учебный процесс образовательной организации: практ. пособие / Н.В. Никуличева. – М.: Федеральный институт развития образования, 2016. – 72 с.
5. Ю.Ю. Хажирокова Сравнительный анализ платформ для дистанционного обучения в образовательной среде // Педагогическая перспектива. 2021. № 2. С. 42–49. Pedagogical perspective. 2021; 2: 42–49.
6. Обзор ТОП-9 отечественных и зарубежных СДО для корпоративного обучения. URL: <https://lmslist.ru/sdo/>(дата обращения: 05.05.2023)
7. Большой обзор LMS-систем: виды, поставщики и реальный кейс внедрения. URL: <https://vc.ru/education/218817-bolshoy-obzor-lms-sistem-vidy-postavshchiki-i-realnyy-keys-vnedreniya> (дата обращения: 05.05.2023)

Лебедева Анна Сергеевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (НИУ «БелГУ»), г. Белгород
Аспирант 2 года обучения по программе «Управление в организационных системах»
Тел.: +7 (4722) 30-14-62
E-mail: lebedeva_as@bsu.edu.ru

Стеклова Виктория Игоревна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (НИУ «БелГУ»), г. Белгород
Аспирант 2 года обучения по программе «Управление в организационных системах»
Тел.: +7 (4722) 30-10-99
E-mail: steklova@bsu.edu.ru

УДК 614.254.1: 004.415

В.В. МУРОМЦЕВ, Л.А. КАМЫШНИКОВА, О.А. ЕФРЕМОВА
V.V. MUROMTSEV, L.A. KAMYSHNIKOVA, O.A. EFREMOVA**СПОСОБ ОПЕРАТИВНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ЖИЗНЕУГРОЖАЮЩИХ СОСТОЯНИЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ****THE METHOD FOR THE OPERATIONAL DETECTION OF LIFE-THREATENING CONDITIONS CARDIOVASCULAR SYSTEM**

В данной статье авторы освещают способ обнаружения жизнеугрожающих состояний сердечно-сосудистой системы (ССС) с помощью мобильного устройства пациента и автоматизированного анализа ЭКГ и пульса. Особенностью предлагаемого способа является то, что информация о состоянии ССС пациента постоянно снимается с помощью фотоэлектрического датчика пульса и анализируется с помощью алгоритмов, учитывающих индивидуальные особенности пациента. Если данных о пульсе недостаточно, то пациенту предлагается снять ЭКГ в спокойном состоянии. В предлагаемом способе используются следующие методы: метод Пана–Томпкинса и метод динамической трансформации временной шкалы (метод DTW, от англ. dynamic time warping).

Ключевые слова: сердечно-сосудистые заболевания; ЭКГ; цифровая обработка сигналов; комплекс QRS; метод DTW; метод Пана–Томпкинса

In given article authors shine a method for detecting life-threatening conditions of the cardiovascular system (CVS) using a patient's mobile device and automated analysis of ECG and pulse. A feature of the proposed method is that information about the state of the patient's CVS is constantly taken using a photoelectric pulse sensor and analyzed using algorithms that take into account the individual characteristics of the patient. If pulse data is not enough, then the patient is asked to take an ECG in a calm state. The proposed method uses the following methods: the Pan–Tompkins method and the dynamic time warping method (DTW method).

Keywords: cardiovascular diseases; ECG; digital signal processing; QRS complex; DTW method; Pan–Tompkins method

Введение

Среди всех хронических неинфекционных заболеваний сердечно-сосудистые заболевания занимают первое место по распространенности и смертности во всем мире. В оценке состояния ССС существенную роль играет анализ пульса и ЭКГ. При этом многочисленные пациенты имеют потребность в непрерывном контроле в течение продолжительного периода времени. Существующие системы контроля состояния ССС пациента можно разбить на четыре типа:

1. Системы мониторинга с фиксированным временем регистрации данных о состоянии ССС пациента.

2. Циклические мониторы. Циклический монитор регистрирует данные о состоянии ССС пациента в непрерывном цикле. При накоплении определенного объема данные передаются в диагностический центр.

3. Ручные мониторы событий. В этом случае пациент активирует режим регистрации данных о состоянии ССС, если он почувствовал ухудшение своего состояния. Снятые данные передаются в диагностический центр.

4. Автоматизированные мониторы событий. В этом случае система постоянно снимает данные о состоянии ССС и контролирует состояние пациента. При обнаружении опасных состояний ССС система оповещает пациента и активирует режим передачи данных в диагностический центр.

Недостатком систем первого типа является то, что использовать их можно только в случае, когда врач уверен в отсутствии у пациента жизнеугрожающих состояний ССС за время регистрации. Это связано с тем, что данные, становятся доступны врачу только после окончания периода регистрации. А во время регистрации за состоянием ССС пациента никто не следит. Типичным представителем таких систем является монитор Холтера. Преимущества подобных систем в том, что анализ снятых данных может проводиться с использованием мощных стационарных вычислительных систем.

В циклических мониторах недостаток характерный для систем мониторинга с фиксированным временем регистрации отсутствует. Фактически устройства такого типа могут передавать данные в диагностический центр непрерывным потоком. Наиболее развитые циклические мониторы кроме ЭКГ могут считывать и передавать другую информацию, например информацию о кровяном давлении пациента, его местоположении и скорости движения и другое. Недостатком подобных систем является то, что они передают большие объемы данных и для оперативного обнаружения жизнеугрожающих ситуаций требуют высокоскоростных каналов связи и больших вычислительных мощностей в диагностическом центре. Кроме того, если выявлена жизнеугрожающая ситуация, то оказать экстренную помощь пациенту также затруднительно. Обычно трудности вызваны тем, что время доступа к пациенту может оказаться недопустимо большим. Поэтому в системах такого вида организуют связь с пациентом. Связь используется для передачи рекомендаций диагностического центра по устранению или облегчению жизнеугрожающей ситуации. Однако и в этом случае время на передачу данных и их обработку может оказаться недопустимо большим. Это приводит к тому, что пациент не в состоянии выполнить рекомендации диагностического центра.

Ручные мониторы событий свободны от недостатка циклических мониторов. Объем передаваемых данных в таких системах существенно ниже, следовательно, ниже и требования к каналам связи и вычислительным мощностям диагностического центра. В таких системах также может быть реализована регистрация ЭКГ и другой информации о состоянии ССС и связь диагностического центра с пациентом. Основной недостаток таких систем в том, что пациент может не почувствовать момент приближения некоторых жизнеугрожающих ситуаций.

Наиболее перспективными являются автоматизированные мониторы событий. В таких системах основная нагрузка на обнаружение жизнеугрожающих ситуаций возлагается на мобильное устройство пациента. Современный этап развития медицинского приборостроения характеризуется возрастающим интересом к подобным системам. Это обусловлено тем, что современная методологическая, алгоритмическая и элементная база позволяет создавать мобильные вычислительные устройства, мощности которых достаточно для выполнения такого анализа в реальном масштабе времени. Также при создании современных устройств оперативного обнаружения жизнеугрожающих состояний ССС уделяется большое внимание персонализированной настройке таких устройств.

Предлагаемый способ оперативного обнаружения жизнеугрожающих состояний ССС

В предлагаемом способе используются следующие методы:

1. Метод Пана–Томпкинса [1]. Данный метод широко используется при обработке ЭКГ для выделения комплексов QRS. Метод основан на предварительной фильтрации ЭКГ, взятии производной от ЭКГ, ее возведении в квадрат с последующим интегрированием. В предлагаемом способе метод Пана–Томпкинса используется как для выделения комплексов QRS, так и пиков пульсовых волн с целью определения аритмии сердца.

2. Метод динамической трансформации временной шкалы (метод DTW, от англ. dynamic time warping) [2]. Метод DTW позволяет найти оптимальное соответствие между временными последовательностями. Впервые метод применен в распознавании речи, для определения того, как два речевых сигнала представляют одну и ту же исходную фразу. В настоящее время метод нашел применение в различных областях, в том числе и в медицине. Например, в [3] метод DTW использовался для улучшения средств просмотра ЭКГ пациента на рабочем месте врача. Врачу предоставлялась возможность задавать шаблоны комплексов QRS и при просмотре ЭКГ перемещаться по комплексам QRS, наиболее похожим на выбранный шаблон. В данном способе метод DTW используется для сравнения формы комплекса QRS и зубца Т в ЭКГ пациента с соответствующими шаблонами, заданными врачом для этого пациента. Таким образом метод DTW используется в предлагаемом способе для обнаружения жизнеугрожающих состояний ССС пациента. Такое использование метода DTW является новым.

Первой особенностью предлагаемого способа является то, что информация о состоянии ССС пациента снимается с фотоэлектрических и электрических датчиков.

Фотоэлектрический датчик представляет собой источник света и фоторезистор. С помощью источника света просвечиваются ткани пациента. Фоторезистор может располагаться рядом с источником света (режим «на отражение») или под ним (режим «на просвет»). Фоторезистор меняет сопротивление в зависимости от количества света поглощенного тканями пациента. Длина волны излучаемого света

подбирается таким образом, чтобы он поглощался эритроцитами. Чем больше кровяной поток, тем меньше света поглощается в тканях, следовательно, больше света приходит на фоторезистор.

Такие датчики широко используются в фотоплетизмографии. Регистрируемый сигнал называется фотоплетизмограммой. В клинической практике фотоплетизмография чаще всего применяется для наблюдения пульсовых волн, т. е. изменений объема участка тела, обусловленных сокращениями мышц сердца. Приборы, осуществляющие регистрацию и анализ пульсовых волн, называются пульсометрами.

В современных пульсометрах широко распространены датчики, работающие как в режиме «на отражение», так и в режиме «на просвет». Режим «на просвет» обычно используется в датчиках, надеваемых на мочку уха или на палец. Режим «на отражение» обычно используется в мобильных устройствах, надеваемых на запястье.

В предлагаемом способе в принципе можно использовать любой из этих режимов. Предпочтение следует отдать режиму «на отражение». Сейчас такой режим хорошо апробирован в спортивных часах, трекерах, мобильных телефонах и др.

Данные о пульсе считываются постоянно, и анализируются с помощью алгоритмов, учитывающих индивидуальные особенности пациента. При этом выделяются пульсовые волны и анализируются различные виды аритмии сердца:

- тахикардия - состояние, при котором частота пульса превышает заданную границу (как правило, 90 ударов в минуту);
- брадикардия - частота пульса меньше заданной границы (60 ударов в минуту);
- пароксизмальные нарушения ритма - внезапно возникшее состояние (приступ), при котором появляется крайне частое сердцебиение (ритмичное или неритмичное) частотой, превышающей 150–200 ударов в минуту;
- экстрасистолия - в правильный ритм сердечных сокращений вплетается преждевременное сокращение. В норме у здорового человека в сутки может произойти до 1500 экстрасистол, не требующих лечения и не влияющих на самочувствие.
- мерцательная аритмия - характерны быстрая смена частоты и регулярности сердечного ритма или резкое его замедление. Выявляется путем анализа максимального и минимального интервала между пульсовыми волнами.

Для каждого пациента и анализируемого вида аритмии врач задает допустимую нижнюю и/или верхнюю границу и сообщение для пациента. Одним из сообщений является «Снимите ЭКГ в спокойном состоянии».

Такое сообщение врач задает для тех случаев, когда данных о пульсе оказывается недостаточно для диагностирования жизнеугрожающего состояния ССС и требуется проанализировать ЭКГ.

В настоящее время для снятия ЭКГ используются контактные и бесконтактные электроды. Контактные электроды регистрируют напряжение. Бесконтактные электроды фиксируют емкостные параметры. В предлагаемом способе ЭКГ снимается с электрических датчиков. Используется I отведение.

Данные ЭКГ также анализируются с помощью алгоритмов, учитывающих индивидуальные особенности пациента.

Второй особенностью предлагаемого способа является то, что анализ ЭКГ сводится к выделению комплексов QRS и анализу их формы.

Врач задает шаблоны форм комплексов QRS. С некоторыми шаблонами врач может связать сообщения для пациента. Если обнаружен комплекс QRS наилучшим образом соответствующий шаблону со связанным сообщением, то пациенту выдается это сообщение. Вопросы фильтрации сигнала ЭКГ и выделение комплексов QRS рассмотрены в [4]. Вопросы анализа формы комплексов QRS рассмотрены в работах [3,5].

Выводы

Таким образом, в предлагаемом способе постоянно снимаются данные о пульсе пациента с помощью фотоэлектрического датчика. Информация о пульсе анализируется с помощью алгоритмов, учитывающих индивидуальные особенности пациента. Если данных о пульсе недостаточно, то пациенту предлагается снять ЭКГ в спокойном состоянии. Данные ЭКГ также анализируются с помощью алгоритмов, учитывающих индивидуальные особенности пациента.

Такой подход обусловлен тем, что данные о пульсе менее подвержены помехам, чем данные ЭКГ. На качество сигнала ЭКГ сильно влияют помехи, вызываемые мышечной активностью пациента. Борьба с такими помехами приводит к существенному усложнению мобильных устройств, осуществляющих съём и анализ ЭКГ. Поэтому в предлагаемом способе съём ЭКГ осуществляется только при обнаружении опасной ситуации, определяемой путем анализа данных о пульсе пациента.

Т.е. пациент не носит на своем теле датчики, осуществляющие съём ЭКГ. На теле пациента постоянно требуется носить только фотоэлектрический датчик. Тем самым уровень комфорта пациента повышается.

Алгоритмы анализа ЭКГ основаны на анализе формы сигнала, и не используют анализ амплитуды. Это позволяет избежать влияния помех различного рода на качество диагностирования жизнеугрожающей ситуации. Также такой подход позволяет настроить алгоритмы для конкретного пациента. Настройка сводится к заданию шаблонов комплексов QRS.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pan J., Tompkins W. A real – time QRS detection algorithm // IEEE Transactions on bio medical engineering. – 1985. - Vol.BME-32. - №3. - P. 230-236.
2. Al-Naymat G., Chawla S., Taheri J. 2012. SparseDTW: A Novel Approach to Speed up Dynamic Time Warping arXiv:1201.2969v1 [cs.DB]. Available at: <https://arxiv.org/pdf/1201.2969v1.pdf> (date of access: 02.05.2023)
3. Муромцев В.В., Никитин В.М., Ефремова О.А., Камышникова Л.А. Подход к улучшению автоматизированной системы компьютерного анализа электрокардиограммы. // Медицинские технологии. Оценка и выбор. – 2019. - № 2(36). – С. 42-48.
4. Муромцев В.В., Никитин В.М., Ефремова О.А., Камышникова Л.А. Информационная технология оперативного определения жизнеугрожающих состояний сердечно-сосудистой системы // Экономика. Информатика. - 2021. - Том 48. - № 1. - С. 130–141.
5. Muromtsev V.V., Nikitin V.M., Efremova O.A., Kamyshnikova L.A., Ushakova S.N. One of the approaches to automating the analysis of the shape of ECG sections // International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET). – 2020. –Vol. 11.- Issue 7. - P. 179-186. DOI: 10.34218/IJARET.11.7.2020.019.

Муромцев Виктор Владимирович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (НИУ «БелГУ»), г. Белгород
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры математического и программного обеспечения информационных систем

Тел.: +7 (4722) 30-13-53

E-mail: muromtsev@bsu.edu.ru

Камышникова Людмила Александровна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (НИУ «БелГУ»), г. Белгород
кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры факультетской терапии

Тел.: +7 (904) 533-73-34

E-mail: kamyshnikova@bsu.edu.ru

Ефремова Ольга Алексеевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (НИУ «БелГУ»), г. Белгород
доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой факультетской терапии

Тел.: +7 (908) 784-83-33

E-mail: efremova@bsu.edu.ru

УДК 681.3.063

Е.В. НЕСТЕРОВА, В.Г. НЕСТЕРОВ, С.В. ИГРУНОВА
E.V. NESTEROVA, V.G. NESTEROV, S.V. IGRUNOVA

СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА СЕРДЕЧНОГО РИТМА

REMOTE HEART RATE MONITORING SYSTEM

В данной статье авторы предлагают систему для удалённого мониторинга функционального состояния системы кровообращения по данным пульсометрии. Произведен SWOT-анализ системы показал все сильные, слабые стороны созданной системы. Предлагаемая система предусматривает возможность удаленного доступа к данным пациента, содержащих физиологическую информацию о состоянии пациента. К достоинствам предложенной системы относится высокая интегрируемость в используемые в настоящее время сети и системы, а также невысокая стоимость системы. Использование подобного типа систем повышает доступность использования цифровых технологий при оценке функционального состояния больных врачами первичного звена здравоохранения.

Ключевые слова: сердечный ритм, пульсометрия, мониторинг сердечной деятельности, дистанционная передача сигнала, Arduino Leonardo, Raspberry Pi.

In this article, the authors propose a system for remote monitoring of the functional state of the circulatory system according to heart rate monitoring. A SWOT analysis of the system was performed and showed all the strengths and weaknesses of the created system. The proposed system provides for the possibility of remote access to patient data containing physiological information about the patient's condition. The advantages of the proposed system include high integration into currently used networks and systems, as well as the low cost of the system. The use of this type of systems increases the availability of the use of digital technologies in assessing the functional state of patients by primary care physicians.

Keywords: heart rate, pulsometry, cardiac activity monitoring, remote signal transmission, Arduino Leonardo, Raspberry Pi.

Сердечно-сосудистые заболевания по заболеваемости и смертности являются лидерами в промышленно развитых странах. Опасность заболеваний сердца связана в значительной степени с высокой вероятностью внезапной смерти. Это обуславливает необходимость постоянного слежения за состоянием сердечно-сосудистой системы у этой группы больных.

Одной из важнейших характеристик функционального состояния сердца является ритм сердца: частота, регулярность, источник. Физиологические и патологические батмотропные эффекты должны быть своевременно диагностированы. Механизм повторного входа возбуждения (reentry) считается главной причиной аритмий, часто ведущих к фибрилляции желудочков сердца и смерти.

Существует много методов оценки функционального состояния сердца. В настоящее время прогресс в развитии методов диагностики и лечение кардиологических больных во многом определяется степенью развития и внедрения информационных технологий. Так телеметрия при электрокардиографическом мониторинге показала себя эффективным инструментом в обнаружении опасных электрокардиографических синдромов. Своевременная диагностика этих синдромов повышает эффективность их лечения. [10,11, 12, 13]. Важной составляющей электрокардиографии является оценка сердечного ритма. Часто для эффективного мониторинга сердечной деятельности достаточно контролировать только характеристики интервала RR и ограничиться проведением так называемой RR-электрокардиографии. Важные сведения о вариабельности сердечного ритма его частотных характеристиках, электрической нестабильности миокарда можно получить и при пульсометрии, более дешёвом и доступном методе медицинской диагностики [1, 10,11, 12, 13]. При этом частота сердечных сокращений должна соответствовать пульсу. Однако цифровые информационные технологии при дистанционном мониторинге пульса практически не используются [10, 13].

В связи с вышеизложенным мы поставили цель создать для мониторинга сердечной деятельности принципиально новую систему дистанционного доступа к информации о физиологическом состоянии организма пациента при использовании компьютерной техники.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- провести сравнительный анализ применяемых технических решений при мониторинге функционального состояния сердца в кардиологической практике;
- разработать аппаратную часть информационной системы дистанционного мониторинга пульса;
- разработать программное обеспечение для аппаратной части информационной системы дистанционного мониторинга сердечного ритма;
- разработать веб-сервис информационной системы дистанционного мониторинга сердечного ритма.

Объектом исследования в работе являлись системы регистрации сердечного ритма при постоянном наблюдении пациента и методы трансферта информации о функциональном состоянии сердца с помощью сети Интернет, при этом предметом нашего интереса выступали методы обработки сигнала с использованием медианного фильтра, использование HTTP-протокола при отправке данных по сети Интернет.

На первом этапе работы осуществлялся выбор аппаратных компонентов системы. Для регистрации сердечного ритма можно использовать различные технические системы разного уровня сложности. Для решения нашей задачи достаточным является использование датчиков-пульсометров.

В таких датчиках, как правило, применяется оптопара светодиод - фоторезистора, электрическое сопротивление которой зависит от освещённости её фоточувствительного элемента [2]. Такие датчики, как правило, располагаются на указательном пальце человека. Принцип работы этих пульсометров состоит в том, что поглощение свет, излучаемого светодиодом оптопары, зависит от кровенаполнения тканей, которое меняется в разные фазы сердечного цикла. При притоке крови к пальцу количество отражаемых квантов света уменьшается, что приводит к увеличению электрического сопротивления фоторезистора, и наоборот, если объем крови в пальце уменьшается в рамках сердечного цикла интенсивность отражаемого света растёт, что приводит к снижению электрического сопротивления фоторезистора [2, 4].

График зависимости изменения электрического сопротивления фоторезистора во времени в полной мере отражает характеристики пульсовой волны, а также основные характеристики сердечного ритма при отсутствии дефицита и профицита пульса. При сравнительном анализе результатов пульсометрии и RR-электрокардиографии у наблюдавшихся нами пациентов мы существенных различий не нашли.

При этом пульсометр имел преимущества как более доступный, дешёвый и компактный прибор относительно устройств регистрации сигналов ЭКГ.

Из большого количества датчиков пульса, предлагаемых рынком, мы отдали предпочтение модели PulseSensor, разработанной World Famous Electronics Inc. Эти датчики содержат три контакта: земля, питание и сигнал.

Возможность выбора напряжения питания датчика из двух вариантов (либо 3,3 В, либо 5 В) допускает использование этого пульсометра в комплексе с разнообразными микроконтроллерами. Для работы с этими контроллерами имеется свободный доступ библиотек. Напряжение 3,3 В должно создавать сила тока 3 мА, а 5 В - 4 мА. Цена, простота использования датчика являются существенными его достоинствами [2].

Выбор пульсометра PulseSensor связан прежде всего с возможностью использования библиотеки для работы датчика с семейством контроллеров Arduino, находящейся в свободном доступе [3].

Для второго модуля системы созданной нами системы мы использовали плату Arduino Leonardo, с помощью которой программируется большое количество задач, при этом используется Си-подобный язык программирования.

При создании системы важно было предусмотреть выбор процессора, автоматически отцифровывающего сигнал для цифровой фильтрации этого сигнала. Такой подход в значительной степени уменьшает расходы, связанные с приобретением радиоэлементов, выполняющих эту функцию.

Процессором Arduino Leonardo являются ATmega32U4, позволяющий применить в режиме реального времени фильтрацию сигнала программными средствами.

При этом контроллер имеет много аналоговых и цифровых вводов и выводов, что позволяет менять его режим работы [3].

Рассматриваемая плата имеет системные, аналоговые и цифровые группы контактов. Порты заземления, питания и выходного напряжения являются системными контактами.

Для сигналов данных, описываемых функцией времени и непрерывным множеством возможных значений используются аналоговые порты. Некоторые из тринадцати цифровых портов соединены с генератором широтно-импульсных модуляций («PWM») [2, 3].

Для большинства рассмотренных портов предусмотрена поддержка большого количества протоколов для передачи данных. Это также является существенным достоинством микроконтроллера.

При работе с датчиком PulseSensor достаточно использование только трёх портов, а именно портов питания, заземления и сигнала [2].

Порт сигнала в нашей системе работает в режиме ввода. При этом сигнал с датчика направляется непосредственно в место, где происходит его обработка.

В качестве третьего модуля системы необходимо было найти устройство, которое должно поддерживать следующие сетевые протоколы: HTTP, HTTPS, FTP и SSH. Таким устройством является миникомпьютер Raspberry Pi 3 [6, 9].

При этом Raspberry Pi 3 можно считать полнофункциональным компьютером. В нем используется операционная система Raspbian, которая создана на основе дистрибутива Linux Debian. Linux содержит широким набором встроенных компиляторов и интерпретаторов, это увеличивает возможности при создании программного обеспечения драйверов датчика. Поэтому Linux позволяет легко проводить подстройку системы под определенные нужды [3, 5]. Это обстоятельство также повлияло на выбор Raspberry Pi 3.

Информационный пакет данных, который передается на сервер, формируется в модуле передатчика. Поэтому его можно назвать терминалом, где заканчивается путь сигнала, сформированного датчиком [9]. Пользователю предоставляется возможность взаимодействия с устройством съема и передачи данных через сенсорный дисплей, поскольку Raspberry Pi 3 имеет HDMI-видеовыход [3]. Графический интерфейс, используемый драйвером датчика и программой отправки данных, намного улучшает условия взаимодействия устройства с конечным пользователем [7].

Ethernet- и Wi-Fi модули в миникомпьютере Raspberry обеспечивают выход в сеть. Удобство в использовании системы и её мобильность при подключении к беспроводной сети обеспечивается интегрированным Wi-Fi адаптером.

Набор USB-портов Raspberry Pi поддерживает режим обмена информацией и обладает GPIO-интерфейсом так же, как и в Arduino [3]. Порты работают только с цифровым сигналом. Возможно выбрать режим ввода или вывода, иногда поддерживается ШИМ режим. Имеются порты питания 3,3 В и 5 В [3, 8]. Ток в 2,5 А обеспечивает питание миникомпьютера при рабочем напряжении 5 В [8].

Создание рассмотренной системы дистанционного мониторинга сердечного ритма при использовании пульсометрии можно рассматривать как достижение цели, поставленной при планировании работы.

Система состоит из трёх взаимосвязанных компонентов: пульсометра PulseSensor, контроллера Arduino Leonardo и миникомпьютера Raspberry Pi 3.

Анализ используемых при дистанционном мониторинге сердечного ритма аппаратных комплексов позволил учесть все недостатки и преимущества существующих решений.

Модульная структура аппаратной части спроектированной системы можно описать следующим образом: за сбор информации о сердечном ритме отвечает датчик PulseSensor; оцифровка, обработка, фильтрация сигнала, полученного с датчика поручена микроконтроллеру Arduino Leonardo; взаимодействие человека с устройством съема, обмен данными между сервером и

устройством для авторизации и передача результата работы датчика обеспечивается микрокомпьютером Raspberry Pi 3, играющего роль терминала.

Для микроконтроллера Arduino Leonardo был написан драйвер, позволяющий проводить фильтрацию сигнала, преобразование и обмен данными с микрокомпьютером Raspberry Pi 3, при этом использовался язык программирования C++. Также, написана программа для графического пользовательского интерфейса для взаимодействия человека с микрокомпьютером Raspberry Pi 3 (на языке программирования Python).

Для взаимодействия микрокомпьютера с микроконтроллером был разработан и реализован программный драйвер на языке программирования Python. На компьютере были установлены серверное программное обеспечение Apache2, PHP-интерпретатор и СУБД MySQL. По этой причине компьютер фактически стал сервером. Созданы оригинальные логическая и физическая модели баз данных. Дистанционный доступ пользователя к результатам исследований, формирование заключения, обмен мгновенными сообщениями между врачом и пациентом осуществляется посредством использования разработанного веб-сервиса.

Предложено три интерфейса: обмена данными, личный кабинет диагноста и личный кабинет пациента.

Интерфейс между устройством и самим сервером обменивает данные, производит проверку подлинности пользователя (аутентификацию).

В своём личном кабинете диагност производит оценку результатов мониторинга пациентов, оформляет заключение с использованием шаблона.

В личном кабинете пациент может просматривать и копировать результаты мониторинга и заключения к ним. Здесь же возможно общение с диагностом.

Структурированное описание системы, характеризующие данную систему относительно слабых и сильных сторон проведено с помощью SWOT-анализа, результаты которого представлен в таблице.

Таблица 1 – SWOT-анализ

Сильные стороны	Возможности		Угрозы	Итого
	Расширение круга потребителей	Совершенствование разработки	Появление конкурентов	
Низкая стоимость	++	0	-	1
Многофункциональность	++	+	-	2
Простота использования	++	0	0	2
Простота настройки	++	++	0	4
Итого	8	3	-2	9
Слабые стороны				
Низкое финансирование	--	--	+	-3
Итого	-2	-2	1	-3
Общий итог	6	1	-1	6

Апробация системы при обследовании 98 пациентов показал работоспособность системы и достаточно высокую эффективность при проведении функциональных проб. Предложенный комплекс позволял в реальном масштабе времени вести прямой мониторинг сердечного ритма, вести диалог между врачами, пациентом и даже его родственниками. По сути реализует все возможности телемедицины, а именно телеконсультирование, телеобучение, теленаставничество, домашняя телемедицина. Разработка таких систем расширяет ассортимент для выбора решений по мониторингу сердечной деятельности, что позволит увеличить массовость использования этих технологий в сфере здравоохранения.

Таким образом, разработанная система обеспечивает эффективный удаленный доступ к результатам мониторинга сердечного ритма, преимущества которой заключаются в хорошем соотношении цены и качества оказания диагностической помощи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Метод интегральной оценки функционального состояния кардиореспираторной системы человека с использованием экспертного балльного и рангового оценивания / М.А. Сурушкин, В.Г. Нестеров, Е.В. Нестерова, С.В. Игрунова // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия Экономика. Информатика. 2020. Том 47. №1. С. 196-204.
2. Астапенко, В.А. Фотоэлектроника. Часть 1. Прикладная электроника / В. А. Алехин. – М.: Янус-К, 2010. – 654 с.
3. Васильев, А. Е. Микроконтроллеры. Разработка встраиваемых приложений / А.Е. Васильев. – СПб.: BHV, 2008. – 304 с.
4. Казаков, В.Н., Климовецкий В.Г., Владзимирский А.В. Телемедицина. – Донецк: Типография ООО «Норд», 2002. – 100 с.
5. Колисниченко, Д. Н. Разработка Linux-приложений. / Д. Н. Колисниченко. – СПб.: BHV, 2012. – 432 с.
6. Логвинов, В. В. Схемотехника телекоммуникационных устройств, радиоприемные устройства систем мобильной и стационарной радиосвязи, теория электрических цепей / В. В. Логвинов и др. – М.: Солон-пресс, 2013. – 656 с.
7. Мандел Т. Разработка пользовательского интерфейса = The Elements of User Interface Design; учеб. пособие / Т. Мандел ; пер. с англ. – М. : «ДМК Пресс». – 416 с.: ил. (Серия «Для программистов»).
8. Опадчий Ю. Ф. Аналоговая и цифровая электроника: Полный курс: учебник для вузов / Ю. Ф. Опадчий, А. И. Гуров; ред. О. П. Глудкин. – М.: Горячая линия-Телеком, 2000. – 768 с.
9. Столлингс, В. Компьютерные сети, протоколы и технологии Интернета / В. Столлингс. СПб.: BHV, 2005. – 832 с.
10. Physiological basis and limitations of diagnosis of synchronous registration of surface electrocardiogram of patients with cervical cancer Nesterov, V.G., Dmitriev, V.N., Igrunova, S.V., ...Kharchenko, U.A., Anciferov, O.V. Journal of Medicinal and Chemical Sciences, 2021, 4(5), стр. 492–496
11. V. G. Nesterov, V. N. Dmitriev, S. V. Igrunova, E. V. Nesterova, M. A. Surushkin, G. V. Emelianova //Holter monitoring in the assessment of physiological systems in patients with cervical cancer / EurAsian Journal of BioSciences 14: 239-241 (2020)
12. Физиологические корреляты при морфологической интерпретации элементов стандартной 12 канальной электрокардиограммы / В. Г. Нестеров, И. А. Черных, С. В. Игрунова, Е. В. Нестерова // StudNet. – 2022. – Т. 5. – № 2. – EDN CGLLHI.
13. Нестерова Е.В., Игрунова С.В., Нестеров В.Г. Разработка информационно-аналитической системы оценивания физиологических систем организма человека // Информационно-аналитические системы и технологии: материалы VII Международной конференции (17-18 марта 2020 года) ; АНО ВО «Белгородский университет кооперации, экономики и права». – Белгород: Издательство БУКЭП, 2020. – 220 с. – ISBN 978-5-8231-0957-4. – С.50-57.

Нестерова Елена Викторовна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
К.э.н., доцент кафедры «Информационных и робототехнических систем»
Тел.: +7(919) 223-57-13
E-mail: nesterova@bsu.edu.ru

Нестеров Валерий Георгиевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
К.м.н., доцент кафедры «Медико-биологических дисциплин»
Тел.: +7(919) 289-86-11
E-mail: nesterov@bsu.edu.ru

Игрунова Светлана Васильевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
К.с.н., доцент, доцент кафедры «Информационных и робототехнических систем»
Тел.: +7(910) 329-61-86
E-mail: igrunova@bsu.edu.ru

УДК 378

E.B. НЕСТЕРОВА, В.Г. НЕСТЕРОВ, С.В. ИГРУНОВА, А.С. ШЕВКУНОВ
E.V. NESTEROVA, V.G. NESTEROV, S.V. IGRUNOVA, A.S. SHEVKUNOV

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ САМООРГАНИЗАЦИИ УЧАСТНИКОВ

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION AND ANALYTICAL SYSTEM FOR SELF-ORGANIZATION OF PARTICIPANTS

Данное исследование посвящено разработке автоматизированной системы самоорганизации участников спортивных команд. Алгоритмы и модели системы будут обеспечивать оперативный сбор состава для игр по расписанию или вольного посещения спортивных объектов, путем оповещения командных игроков и привлечения свободных игроков вне спортивной команды при низкой посещаемости основных участников.

Ключевые слова: событийная модель, спорт, спортивные соревнования, календарный план

This study is devoted to the development of an automated system of self-organization of sports team members. The algorithms and models of the system will ensure the prompt collection of the squad for scheduled games or free visits to sports facilities, by notifying team players and attracting free players outside the sports team with low attendance of the main participants.

Keywords: event model, sport, sports competitions, calendar plan

Проведение спортивных соревнований и физкультурно-спортивных мероприятий регулируется несколькими документами, основными из которых являются правила соревнований по видам спорта, календарный план спортивных соревнований, положение о соревновании, регламент проведения спортивных соревнований, смета на проведения спортивного соревнования [6].

Календарный план соревнований представляет собой плановый документ, который регламентирует перечень планируемых к проведению в предстоящий период соревнований спортивных мероприятий и их виды, определяет сроки и места их проведения, состав участвующих организаций, участников и судей, а также предполагаемые финансовые затраты на проведение этих соревнований [3, 4]. Разработка календарного плана ведётся на основе плана организаций, проводящих соревнования [6].

Обычно календарный план составляется на год или на сезон и включает в себя три раздела:

- 1) физкультурно-оздоровительные мероприятия;
- 2) комплексные мероприятия;
- 3) соревнования по видам спорта.

В календарном плане указывается название соревнований, сроки и место их проведения и ответственные за их организацию лица.

Важным условием при составлении календарного плана является традиционность намеченных мероприятий по срокам, программам, участвующим лицам. Это повышает интерес к ним, облегчает организацию учебно-тренировочного процесса, делает соревнование более популярным у зрителей. Спортивные соревнования являются стимулом для систематических тренировок и способствуют росту спортивных результатов, если они проводятся регулярно [4].

Анализ хоккейных команд в «Ночной Хоккейной Лиге» г. Белгород показал следующие проблемные вопросы:

- самоорганизация участников команд происходит в группе мессенджера капитаном команды;
- подсчет и оповещение участников происходит вручную капитаном команды;
- нехватка игроков при низкой посещаемости основных участников;
- коллизии при некорректном подсчете участников.

Для того, чтобы избежать таких коллизий существует необходимость разработать автоматизированную систему для самоорганизации участников спортивных команд, обеспечить оперативный сбор состава для игр по расписанию или вольного посещения спортивных объектов, путем

оповещения командных игроков и привлечения свободных игроков вне спортивной команды при низкой посещаемости основных участников.

В качестве средств автоматизации был выбран Чат-бот на базе мессенджера Telegram.

В базовой реализации Чат-бот должен обладать следующими функциями:

- быть встраиваемым в произвольное количество чатов;
- хранить свое состояние для каждого чата в отдельности;
- по управляющей команде создавать команду из списка группы мессенджера;
- по управляющей команде создавать новое активное событие с определенной информацией и списком игроков команды, состоящей из группы мессенджера;
- иметь логику событийной модели;
- иметь календарный план каждой команды с возможностью экспорта и импорта;
- все созданные события команды и изменения игры должны оповещаться всеми участниками чата;
- в процессе анализа предметной области был выделен необходимый набор действующих лиц и их бизнес цели, которые описывают данную систему.

Таблица 1 – Действующие лица и их бизнес цели

Действующие лица	Бизнес-цель
Чат-бот	Оповестить Команду
Администратор команды	Сформировать запрос на создание Команды
	Сформировать запрос на создание События
	Сформировать запрос на удаление Команды
	Сформировать запрос на удаление События
	Сформировать запрос на создание внепланового События
	Сформировать запрос на формирование отчета по Команде
	Сформировать запрос на формирование отчета по Событию
	Сформировать запрос на удаление Участника команды
	Сформировать запрос на удаление Участника События
	Создать команду
	Создать событие
	Создать внеплановое событие
	Удалить участника команды
	Удалить участника события
	Удалить команду
Удалить событие	
Зарегистрированный пользователь	Сформировать запрос на формирование отчета по Командам
	Сформировать запрос на формирование отчета по Событиям
	Выбрать команду
	Выбрать событие
Незарегистрированный пользователь	Сформировать запрос на формирование отчета по Командам
	Сформировать запрос на формирование отчета по Событиям
Участник События	Сформировать запрос на формирование отчета по Командам
	Сформировать запрос на формирование отчета по Событиям
	Сформировать запрос на выход из События
	Выйти из События
	Сформировать запрос на формирование отчета по Командам
Участник команды	Сформировать запрос на формирование отчета по Командам
	Сформировать запрос на формирование отчета по Событиям
	Сформировать запрос на выход из События
	Сформировать запрос на выход из Команды
	Выйти из События
	Выйти из Команды
Капитан команды	Унаследованы от Администратора команды

В процессе анализа предметной области был выделен необходимый набор объектов, которые описывают данную систему. Каждый объект имеет необходимые атрибуты для реализации полноценной системы:

- Игрок – человек из чата группы мессенджера, который входит в команду и принимающий участие в событии.
- Команда – Группа людей, состоящих из игроков.
- Администратор – ответственное лицо команды.
- Событие – новая игра для чата, назначенная на определенную дату и время, местом проведения игры, видом спорта игры с минимальным количеством игроков и желаемых участников. Также в новой игре есть возможность выбрать календарный план проведения плановой и игры.
- Плановая игра – событие, возникающее заранее по календарному плану.
- Внеплановая игра – событие, возникающее вне календарного плана, и зависит только от администратора.

На рисунке 1 представлена логическая модель автоматизированной системы.

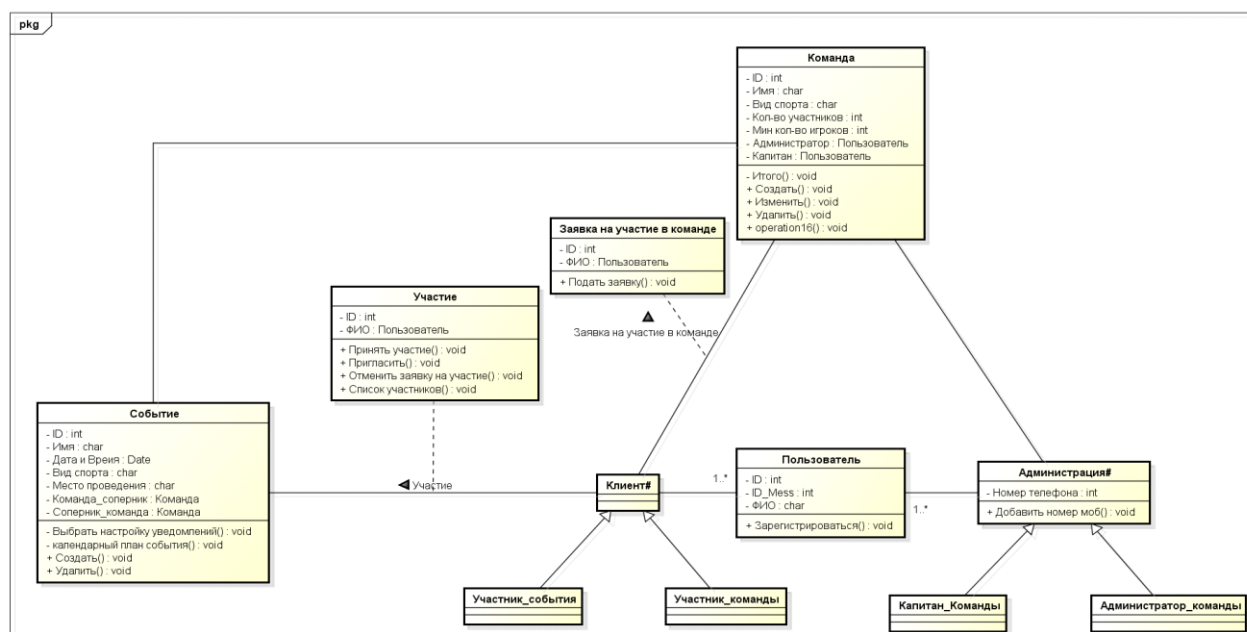


Рисунок 1 – Диаграмма классов базы данных системы

Для разработки автоматизированной системы необходимо построить функциональную модель системы в нотации IDEF0.

Методология IDEF0 может использоваться для моделирования широкого круга предметных областей. Процесс моделирования какой-либо системы в IDEF0 начинается с построения контекстной диаграммы, т.е. наиболее абстрактного уровня описания системы в целом. Контекстная диаграмма является вершиной древовидной структуры диаграмм и представляет собой самое общее описание системы и ее взаимодействие с внешней средой.

Представлена контекстная диаграмма работы автоматизированной системы «Функционирование автоматизированной системы оповещения» на рисунке 2.

Вход представляет собой информацию, преобразуемую функциональным блоком. Для данной модели входной информацией являются Лиды, запросы на участие в игре, а также значимые оповещения. Исполняющим механизмом является система и администратор. В качестве выходной информации выступают: подтвержденный участник игры и рассылка значимых оповещений.

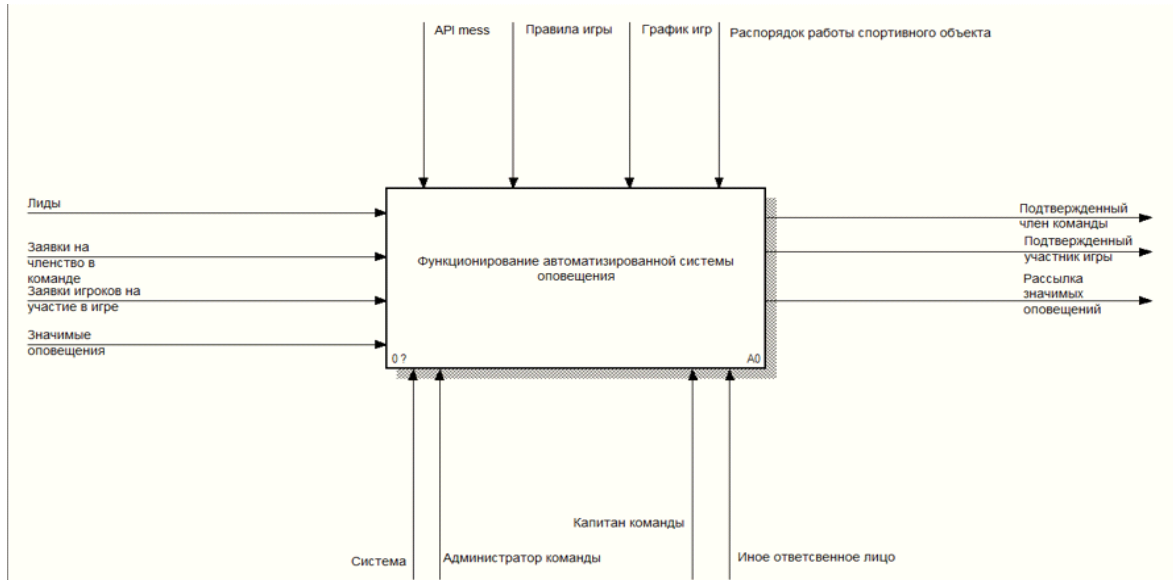


Рисунок 2 – Контекстная диаграмма модели «Функционирование автоматизированной системы оповещения»

Декомпозиция контекстной диаграммы «Функционирование автоматизированной системы оповещения» в нотации IDEF0 (рис. 3). На данной диаграмме четыре блока:

- «Идентифицировать и авторизовать посетителя»;
- «Администрировать команду»;
- «Администрировать игру»;
- «Администрировать оповещения».

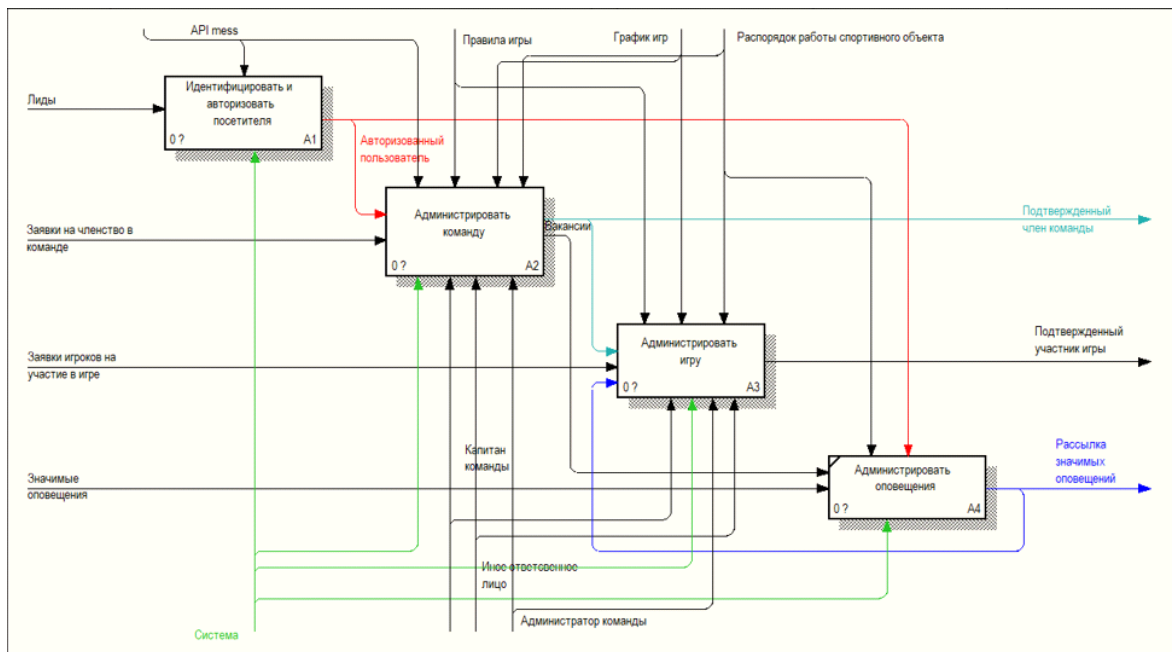


Рисунок 3 – Декомпозиция диаграммы «Функционирование автоматизированной системы оповещения»

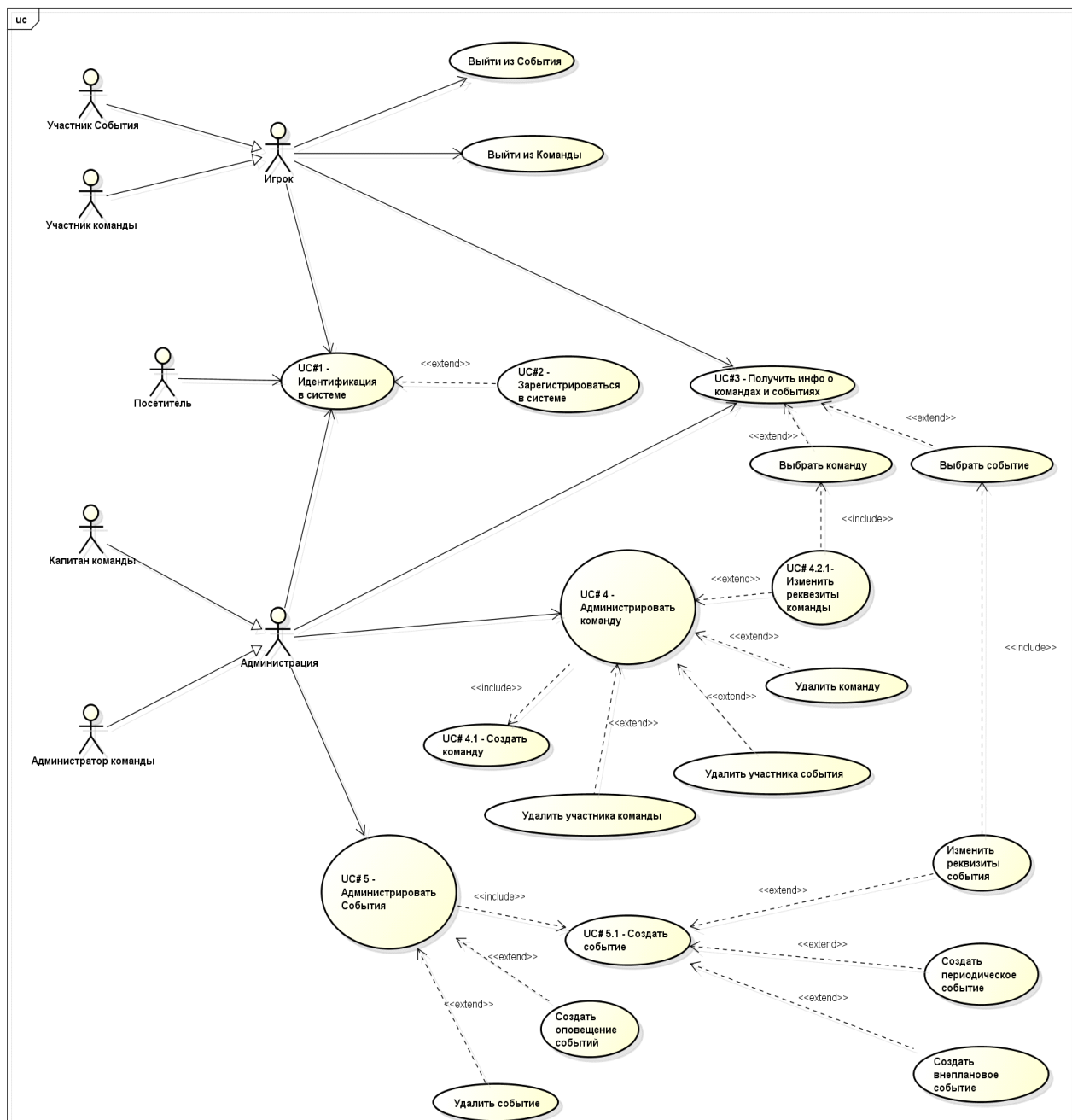
Диаграмма прецедентов – это «диаграмма, на которой изображаются отношения между актерами и вариантами использования» (рисунок 4).

Актер – это любая сущность, которая выполняет роль в одной данной системе. Это может быть человек, организация или внешняя система.

Вариант использования – функция или действие внутри системы.

На диаграмме указаны следующие актеры:

- Участник события – человек из чата не состоящий ни в одной команде и принимает участие в событии;
- Участник команды – человек из группы чата, который входит в состав команды;
- Игрок – отобранный участник или игрок принимающий участие в событии
- Посетитель – пользователь мессенджера Telegram, непрошедший регистрацию в системе;
- Администратор команды – ответственное лицо команды
- Капитан команды – игрок с ролью администратор.
- Администрация – Группа лиц, состоящая из администратора команды и капитана команды.



powered by Astah

Рисунок 4 – Диаграмма прецедентов

Результатом проделанной работы является полное функциональное мобильное приложение на базе мессенджера Telegram на основе чат-бота. Данное мобильное приложение может быть использовано для автоматизации мероприятий различного уровня, где существует потребность в формировании группы лиц на запланированную дату, время и место проведения события.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С.В. Спортивный менеджмент. Регулирование организации и проведение физкультурных и спортивных мероприятий: учебник / С.С. Алексеев. - М.: ЮНИТИ-ДАНА: Закон и право, 2014.
2. Зуев В.Н. Управление системой спортивных соревнований / В.Н. Зуев. - М.: Физкультура и спорт, 2009.
3. Круглова Т.Э. Современные проблемы спортивного менеджмента: учебно-методическое пособие / Т.Э. Круглова; СПбГУФК им. П.Ф. Лесгафта. - СПб.: 2008.
4. Студопедия сетевое издание // Спортивные соревнования – [Электронный ресурс]. – URL: https://studopedia.ru/11_38156_sportivnie-sorevnovaniya.html (дата обращения 23.11.2022)
5. Шевкунов, А.С. Автоматизированная система самоорганизации участников спортивных команд / А. С. Шевкунов. – Текст: непосредственный // II Всероссийской научно-практической конференции – Всероссийские научные студенческие чтения «Студенчество XXI века: ценности, мировоззрение, идеалы» – Белгород: Эпицентр, 2022. – С. 250-255.
6. Шевкунов А.С., н. рук. Е.В. Нестерова, С.В. Игрунова. Автоматизированная система самоорганизации участников спортивных команд // Сборник материалов II Всероссийской научно-практической конференции – Всероссийские научные студенческие чтения «Студенчество XXI века: ценности, мировоззрение, идеалы» (20 декабря 2022 г.) / отв. ред. О.В. Осетрова. – Белгород: ООО «Эпицентр», 2022. – 264 с. - С. 250-255.

Нестерова Елена Викторовна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
К.э.н., доцент кафедры информационных и робототехнических систем
Тел.: +7(919) 223-57-13
E-mail: nesterova@bsu.edu.ru

Нестеров Валерий Георгиевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
К.м.н., доцент кафедры медико-биологических дисциплин
Тел.: +7(919) 289-86-11
E-mail: nesterov@bsu.edu.ru

Игрунова Светлана Васильевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
К.с.н., доцент, доцент кафедры информационных и робототехнических систем
Тел.: +7(910) 329-61-86
E-mail: igrunova@bsu.edu.ru

Шевкунов Александр Сергеевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Магистр кафедры информационных и робототехнических систем
Тел.: +7(980) 382-77-49
E-mail: 1248944@bsu.edu.ru

УДК 004.89

А.А. СИНЬКО, К.А. ПОЛЬЩИКОВ
А.А. SINKO, К.А. POLSHCHIKOV

СОЗДАНИЕ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СПОСОБНОСТЕЙ

CREATION OF METHODS AND MODELS BASED ON NEURAL NETWORKS FOR ENGINEERING ABILITIES DIAGNOSING

Предложено использование искусственного интеллекта для привлечения молодежи к получению инженерного образования. Для этого был разработан метод диагностики инженерных способностей с использованием нейронной сети. Предложена функциональная схема программной системы нейросетевого диагностирования инженерных способностей. Разработан метод оценки показателя инженерных способностей с помощью нейронных сетей. Представлены модели, с помощью которых можно получить показатель инженерных способностей испытуемого в виде выходной величины нейронной сети.

Ключевые слова: диагностика, оценка инженерных способностей, нейронные сети, нечеткий вывод, параметры психологической диагностики.

The use of artificial intelligence to attract young people to pursue engineering education has been proposed. For this purpose, a neural network-based method of engineering aptitude diagnosis has been developed. A functional scheme of neural network software system for engineering aptitude diagnosis has been proposed. The method of engineering aptitude indicator estimation using neural networks has been developed. The models which can be used to obtain the index of engineering aptitude of the subject in the form of neural network output value are presented.

Keywords: diagnostics, assessment of engineering capabilities, neural networks, fuzzy inference, psychological diagnostic parameters.

Создание эффективных инструментов для выявления талантливых школьников, которые способны к точным наукам и готовы получать высшее инженерное образование – является актуальной научно-технической задачей. Исследование использования технологий искусственного интеллекта в сфере диагностики показало, что нейросетевая система может быть эффективным решением для данной задачи. Для этого необходимо определить набор психодиагностических параметров и визуально-звуковых сценариев, а также следует разработать модели, методы и алгоритмы для нейросетевого диагностирования инженерных способностей и соответствующее программное обеспечение.

Цель данной статьи заключается в разработке моделей и методов нейросетевого диагностирования инженерных способностей. Данное исследование может помочь образовательным учреждениям в выявлении талантливых абитуриентов, тем самым улучшить качество образования и развитие инженерных кадров в будущем.

Задачи исследования:

- 1) разработать метод нейросетевого диагностирования инженерных способностей;
- 2) разработать функциональную схему программной системы для диагностики инженерных способностей с помощью нейронных сетей;
- 3) разработать метод оценивания показателя инженерных способностей с применением нейронных сетей;
- 4) разработать модели оценивания показателя инженерных способностей с применением нейронных сетей.

Диагностику инженерных способностей зададим на основе следующих параметров:

- 1) преобладающий у испытуемого тип эмоциональной направленности;
- 2) уровень саморегуляции поведения испытуемого;

- 3) уровень мотивации учебно-исследовательской деятельности;
- 4) уровень развития технического мышления.

Для оценки инженерных способностей предлагается использовать специальные интерактивные психодиагностические сценарии с привлекательным видео- и аудиоинтерфейсом, которые пользователи (испытуемые) будут проходить, реагируя на проблемные ситуации и выбирая наилучшие решения. Комбинации реакций, полученные в результате прохождения таких сценариев, являются уникальными для каждого человека и позволяют оценить его инженерные способности. Однако, так как число комбинаций реакций очень большое, невозможно создать базу данных, которая содержала бы информацию о каждой комбинации и ее соответствии конкретному уровню инженерных способностей. Вместо этого, можно прибегнуть к возможностям искусственного интеллекта, чтобы обработать полученные данные. Это позволяет более точно оценить инженерные способности испытуемых и дает возможность разработки персонализированных программ обучения и тренировок.

Для оценки характеристик испытуемого используются его реакции. Из этих реакций вычисляются следующие характеристики: α – интегральная оценка преобладающего у испытуемого типа эмоциональной направленности; β – интегральная оценка уровня саморегуляции поведения испытуемого; γ – интегральная оценка уровня мотивации учебно-исследовательской деятельности у испытуемого; λ – интегральная оценка уровня развития технического мышления у испытуемого. Эти характеристики можно использовать в качестве входных данных для специально обученной нейронной сети. Нейросеть может использовать эти данные для получения выходной величины S – показателя инженерных способностей испытуемого.

Предлагается метод диагностирования инженерных способностей на основе применения нейронной сети. Он включает в себя несколько этапов. На первом этапе испытуемый подключается к программной системе диагностирования инженерных способностей. Затем он авторизуется и получает доступ к прохождению психодиагностических сценариев. На третьем этапе испытуемый проходит интерактивные психодиагностические сценарии. Далее, на четвертом этапе, вычисляются интегральные оценки α , β , γ , и λ на основе реакций испытуемого. На пятом этапе оценивается показатель S на основе функционирования нейронной сети. На шестом этапе показатель S выводится в качестве результата нейросетевого диагностирования инженерных способностей. Наконец, на седьмом этапе завершается сеанс подключения испытуемого к программной системе диагностирования инженерных способностей. Этот метод использует программную систему диагностики инженерных способностей с использованием нейронной сети, функциональная схема которой представлена на рисунке 1.

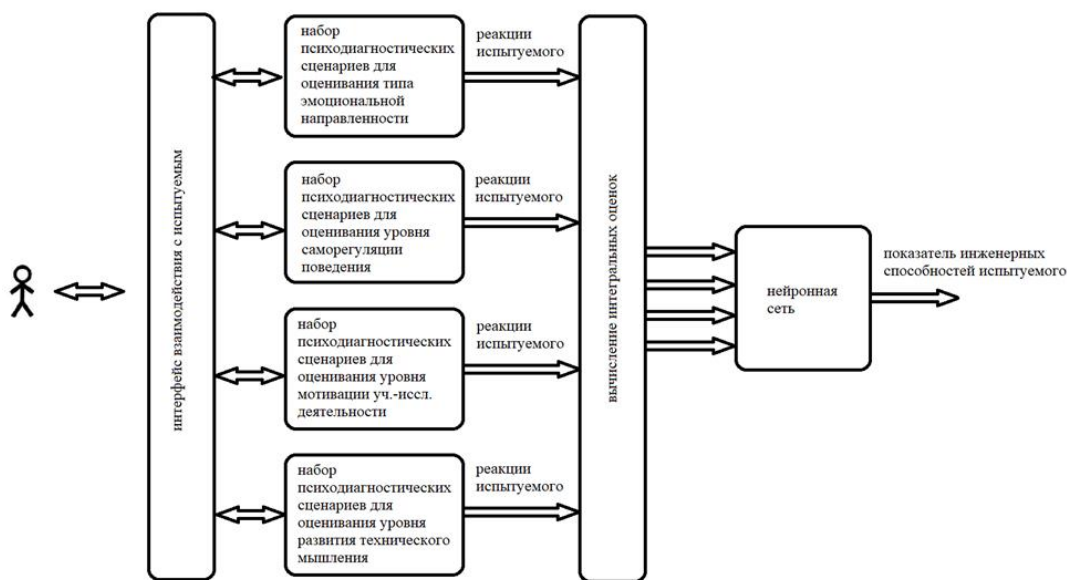


Рисунок 1 – Функциональная схема системы диагностики инженерных способностей с использованием нейронной сети

Несомненно, не представляется возможным точно установить, какие конкретные численные значения входных величин соответствуют определенным значениям выходного показателя. Поэтому предпочтительнее оперировать с нечеткими множествами (термами), такими как «тип эмоциональной направленности испытуемого благоприятствует инженерной деятельности» и «тип эмоциональной направленности испытуемого не благоприятствует инженерной деятельности», «высокий уровень саморегуляции поведения у испытуемого» и «низкий уровень саморегуляции поведения у испытуемого», «высокий уровень мотивации учебно-исследовательской деятельности у испытуемого» и «низкий уровень мотивации учебно-исследовательской деятельности у испытуемого», а также «высокий уровень развития технического мышления у испытуемого» и «низкий уровень развития технического мышления у испытуемого».

Для оценки инженерных способностей человека можно использовать нечеткий вывод. Один из наиболее подходящих алгоритмов для этого - алгоритм Сугено нулевого порядка. Этот алгоритм отличается простотой и может быть успешно применен для решения различных задач в области науки и техники. В качестве нечетких множеств и параметров нечетких правил можно использовать следующие обозначения: α^+ – терм «тип эмоциональной направленности испытуемого благоприятствует инженерной деятельности»; α^- – терм «тип эмоциональной направленности испытуемого не благоприятствует инженерной деятельности»; β^+ – терм «высокий уровень саморегуляции поведения у испытуемого»; β^- – терм «низкий уровень саморегуляции поведения у испытуемого»; γ^+ – терм «высокий уровень мотивации учебно-исследовательской деятельности у испытуемого»; γ^- – терм «высокий уровень развития технического мышления у испытуемого»; λ^+ – терм «высокий уровень мотивации учебно-исследовательской деятельности у испытуемого»; λ^- – терм «низкий уровень развития технического мышления у испытуемого»; s_1, s_2, \dots, s_{16} – индивидуальные выводы соответствующих нечетких правил.

Применим линейные Z-образные и S-образные функции принадлежности для оценки показателя инженерных способностей. При этом введем следующие обозначения: $x^+(\alpha)$ – функция принадлежности величины α терму α^+ ; x_0^+ и x_1^+ – границы наклонного отрезка S-образной функции $x^+(\alpha)$; $x^-(\alpha)$ – функция принадлежности величины α терму α^- ; x_1^- и x_0^- – границы наклонного отрезка Z-образной функции $x^-(\alpha)$; $y^+(\beta)$ – функция принадлежности величины β терму β^+ ; y_0^+ и y_1^+ – границы наклонного отрезка S-образной функции $y^+(\beta)$; $y^-(\beta)$ – функция принадлежности величины β терму β^- ; y_1^- и y_0^- – границы наклонного отрезка Z-образной функции $y^-(\beta)$; $z^+(\gamma)$ – функция принадлежности величины γ терму γ^+ ; z_0^+ и z_1^+ – границы наклонного отрезка S-образной функции $z^+(\gamma)$; $z^-(\gamma)$ – функция принадлежности величины γ терму γ^- ; z_1^- и z_0^- – границы наклонного отрезка Z-образной функции $z^-(\gamma)$; $w^+(\lambda)$ – функция принадлежности величины λ терму λ^+ ; w_0^+ и w_1^+ – границы наклонного отрезка S-образной функции $w^+(\lambda)$; $w^-(\lambda)$ – функция принадлежности величины λ терму λ^- ; w_1^- и w_0^- – границы наклонного отрезка Z-образной функции $w^-(\lambda)$.

В результате получаем нейронную сеть, состоящую из четырех слоев, с помощью которой можем оценить показатель инженерных способностей (рисунок 2).

Предлагаемый метод оценки показателя инженерных способностей с применением нейронной сети выполняется по этапам: 1 – подача на вход нейронной сети величин α , β , γ , и λ ; 2 – выполнение первым слоем нейронов процедуры фаззификации – вычисление значений функций принадлежности $x^+(\alpha)$, $x^-(\alpha)$, $y^+(\beta)$, $y^-(\beta)$, $z^+(\gamma)$, $z^-(\gamma)$, $w^+(\lambda)$ и $w^-(\lambda)$; 3 – выполнение вторым слоем нейронов процедуры агрегирования – оценивание значений степени истинности G_1, G_2, \dots, G_{16} нечетких правил; 4 – выполнение третьим слоем нейронов процедуры активизации; 5 – выполнение четвертым слоем нейронов процедуры дефаззификации, в результате которой оценивается выходная величина S – показатель инженерных способностей испытуемого. Функциональность каждого слоя нейронной сети может быть представлена в виде математических моделей.

В представленной на рисунке 2 нейронной сети каждый слой служит для выполнения определенных процедур нечеткого вывода.

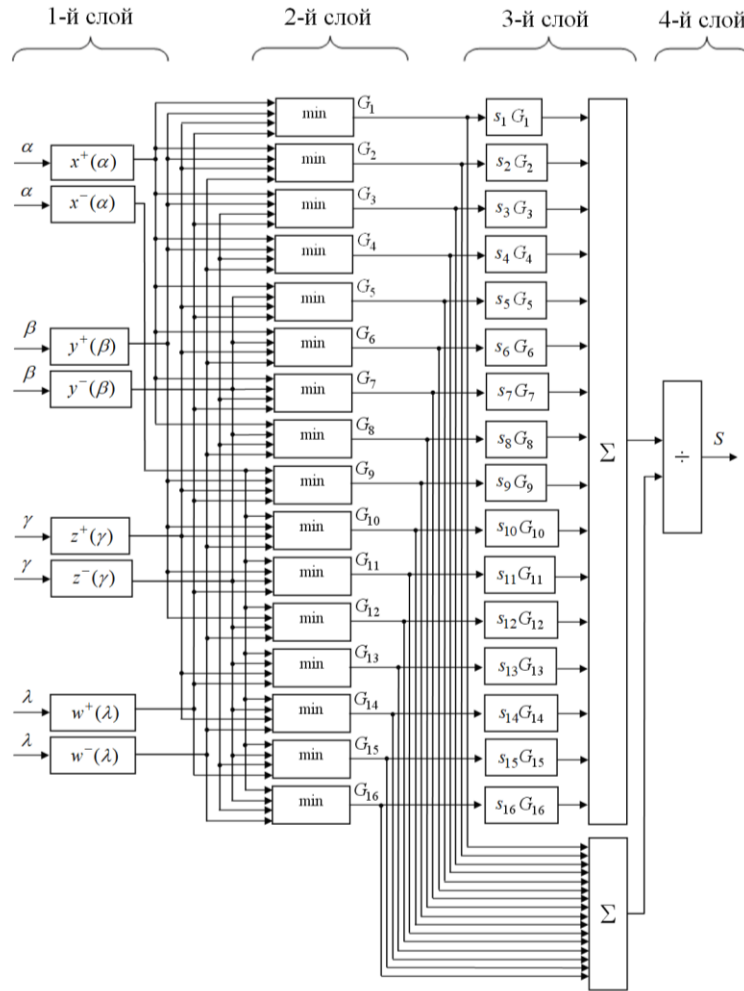


Рисунок 2 – Структура нейронной сети для оценивания показателя инженерных способностей

Так, с помощью нейронов первого слоя выполняется процедура фаззификации в соответствии со следующими выражениями:

$$x^-(\alpha) = \begin{cases} 1, \alpha \leq x_1^-; \\ \frac{x_0^- - \alpha}{x_0^- - x_1^-}, x_1^- < \alpha < x_0^-; \\ 0, \alpha \geq x_0^-; \end{cases} \quad (1)$$

$$x^+(\alpha) = \begin{cases} 0, \alpha \leq x_0^+; \\ \frac{\alpha - x_0^+}{x_1^+ - x_0^+}, x_0^+ < \alpha < x_1^+; \\ 1, \alpha \geq x_1^+; \end{cases} \quad (2)$$

$$y^-(\beta) = \begin{cases} 1, \beta \leq y_1^-; \\ \frac{y_0^- - \beta}{y_0^- - y_1^-}, y_1^- < \beta < y_0^-; \\ 0, \beta \geq y_0^-; \end{cases} \quad (3)$$

$$y^+(\beta) = \begin{cases} 0, \beta \leq y_0^+; \\ \frac{\beta - y_0^+}{y_1^+ - y_0^+}, y_0^+ < \beta < y_1^+; \\ 1, \beta \geq y_1^+; \end{cases} \quad (4)$$

$$z^-(\gamma) = \begin{cases} 1, \gamma \leq z_1^-; \\ \frac{z_0^- - \gamma}{z_0^- - z_1^-}, z_1^- < \gamma < z_0^-; \\ 0, \gamma \geq z_0^-; \end{cases} \quad (5)$$

$$z^+(\gamma) = \begin{cases} 0, \gamma \leq z_0^+; \\ \frac{\gamma - z_0^+}{z_1^+ - z_0^+}, z_0^+ < \gamma < z_1^+; \\ 1, \gamma \geq z_1^+; \end{cases} \quad (6)$$

$$w^-(\lambda) = \begin{cases} 1, \lambda \leq w_1^-; \\ \frac{w_0^- - \lambda}{w_0^- - w_1^-}, w_1^- < \lambda < w_0^-; \\ 0, \lambda \geq w_0^-; \end{cases} \quad (7)$$

$$w^+(\lambda) = \begin{cases} 0, \lambda \leq w_0^+; \\ \frac{\lambda - w_0^+}{w_1^+ - w_0^+}, w_0^+ < \lambda < w_1^+; \\ 1, \lambda \geq w_1^+; \end{cases} \quad (8)$$

С помощью второго слоя нейронов выполняется процедура агрегирования на основе применения следующих выражений:

$$G_1 = x^+(\alpha) \wedge y^+(\beta) \wedge z^+(\gamma) \wedge w^+(\lambda), \quad (9)$$

$$G_2 = x^+(\alpha) \wedge y^+(\beta) \wedge z^+(\gamma) \wedge w^-(\lambda), \quad (10)$$

$$G_3 = x^+(\alpha) \wedge y^+(\beta) \wedge z^-(\gamma) \wedge w^+(\lambda), \quad (11)$$

$$G_4 = x^+(\alpha) \wedge y^+(\beta) \wedge z^-(\gamma) \wedge w^-(\lambda), \quad (12)$$

$$G_5 = x^+(\alpha) \wedge y^-(\beta) \wedge z^+(\gamma) \wedge w^+(\lambda), \quad (13)$$

$$G_6 = x^+(\alpha) \wedge y^-(\beta) \wedge z^+(\gamma) \wedge w^-(\lambda), \quad (14)$$

$$G_7 = x^+(\alpha) \wedge y^-(\beta) \wedge z^-(\gamma) \wedge w^+(\lambda), \quad (15)$$

$$G_8 = x^+(\alpha) \wedge y^-(\beta) \wedge z^-(\gamma) \wedge w^-(\lambda), \quad (16)$$

$$G_9 = x^-(\alpha) \wedge y^+(\beta) \wedge z^+(\gamma) \wedge w^+(\lambda), \quad (17)$$

$$G_{10} = x^-(\alpha) \wedge y^+(\beta) \wedge z^+(\gamma) \wedge w^-(\lambda), \quad (18)$$

$$G_{11} = x^-(\alpha) \wedge y^+(\beta) \wedge z^-(\gamma) \wedge w^+(\lambda), \quad (19)$$

$$G_{12} = x^-(\alpha) \wedge y^+(\beta) \wedge z^-(\gamma) \wedge w^-(\lambda), \quad (20)$$

$$G_{13} = x^-(\alpha) \wedge y^-(\beta) \wedge z^+(\gamma) \wedge w^+(\lambda), \quad (21)$$

$$G_{14} = x^-(\alpha) \wedge y^-(\beta) \wedge z^+(\gamma) \wedge w^-(\lambda), \quad (22)$$

$$G_{15} = x^-(\alpha) \wedge y^-(\beta) \wedge z^-(\gamma) \wedge w^+(\lambda), \quad (23)$$

$$G_{16} = x^-(\alpha) \wedge y^-(\beta) \wedge z^-(\gamma) \wedge w^-(\lambda), \quad (24)$$

С помощью нейронов третьего слоя вычисляются числитель и знаменатель выражения (25), а с помощью нейронов четвертого слоя выполняется деление – заключительная операция процедуры дефазификации:

$$S = \frac{\sum_{k=1}^8 G_k S_k}{\sum_{k=1}^8 G_k}. \quad (25)$$

Таким образом, одним из современных методов оценки инженерных способностей является использование нейронных сетей. Для этого были разработаны модели, представленные в виде выражений (1) – (25), которые позволяют оценить выходную величину нейронной сети и, следовательно, показатель инженерных способностей испытуемого.

В результате исследования был разработан метод нейросетевого диагностирования инженерных способностей. Также была предложена функциональная схема системы нейросетевого диагностирования инженерных способностей испытуемого. Был предложен метод оценивания инже-

нерных способностей при помощи нейронных сетей. Были разработаны модели, которые описывают функциональность каждого слоя нейронной сети и позволяют вычислить значения функций принадлежности, степень истинности каждого нечеткого правила и результирующее значение показателя инженерных способностей испытуемого.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Xiang T., Yuan S., Wu P. Z. Application Analysis of Combining BP Neural Network and Logistic Regression in Human Resource Management System // *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022. – № 2022. – P. 7425815.
2. Polishchikov K.A., Velikanova A.S., Igityan E.V. Neural network natural language processing tools for identifying personal priorities in the project performers selection in the field of smart agriculture // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022. – № 1069. – P. 12012.
3. Huang L. C., Wu P., Kuo R. J. A neural network modelling on human resource talent selection // *International Journal of Human Resources Development & Management*, 2001. – № 1(2-4). – P. 206.
4. Velikanova A.S. and other. The use of virtual reality and fuzzy neural network tools to identify the focus on achieving project results / A.S. Velikanova, K.A. Polishchikov, R.V. Likhoshesterov, A.K. Polishchikova // *Journal of Physics: Conference Series. 2nd International Scientific Conference on Artificial Intelligence and Digital Technologies in Technical Systems 2021, AIDTTS II 2021*, 2021. – № 2060. – P. 173707.
5. Lv T., Wang X., Jin L. Margin-Based Deep Learning Networks for Human Activity Recognition // *Sensors*, 2020. – № 20. – P. 1871.
6. Feng Q., Su X., Feng Z. Design and Simulation of Human Resource Allocation Model Based on Double-Cycle Neural Network // *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2021. – № 2021. – P. 7149631.
7. Агузумцян Р.В. и др. О применении интеллектуальных технологий обработки естественного языка и средств виртуальной реальности для поддержки принятия решений при подборе исполнителей проектов / Р.В. Агузумцян, А.С. Великанова, К.А. Польщиков, Е.В. Игитян, Р.В. Лихошерстов // *Экономика. Информатика*, 2021. – № 48 (2). – С. 392–404.
8. Shoaib M. Complex human activity recognition using smartphone and wrist-worn motion sensors // *Sensors*, 2016. – № 4. – P. 426.
9. Sanhudo L. Activity classification using accelerometers and machine learning for complex construction worker activities // *Journal of Building Engineering*, 2021. – № 35. – P. 102001.
10. Takagi T., Sugeno M. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetic*, 1985. – № 15(1). – P. 116–132.
11. Mahdi T.N. and other. Clusters partition algorithm for a self-organizing map for detecting resource-intensive database inquiries in a geo-ecological monitoring system / T.N. Mahdi, J.Q. Jameel, K.A. Polishchikov, S.A. Lazarev, I.K. Polishchikov, V.E. Kiselev // *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 2021. – № 9(4). – P. 1138-1145.
12. Rvachova N. and other. Selecting the intersegment interval for TCP in Telecomms networks using fuzzy inference system / N. Rvachova, G. Sokol, K. Polishchikov, J. Davies // *Proceedings of the Sixth International Conference “2015 Internet Technologies and Applications (ITA)”*, 2015. – P. 256–260.

Синько Александра Александровна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
ассистент кафедры прикладной математики и компьютерного моделирования
Тел.: +7(920) 574-17-43
E-mail: sinko@bsu.edu.ru

Польщиков Константин Александрович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Д.т.н., директор института инженерных и цифровых технологий
Тел.: +7(4722) 24-54-10
E-mail: polshchikov@bsu.edu.ru

УДК 004.4

А.Ю. УЖАРИНСКИЙ, А.В. КОСЬКИН, С.В. НОВИКОВ
A.YU. UZHARINSKIY, A.V. KOSKIN, S.V. NOVIKOV**ОПЫТ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ В ОРЛОВСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ИМ. И.С. ТУРГЕНЕВА****EXPERIENCE IN BUILDING AN ELECTRONIC INFORMATION
AND EDUCATIONAL ENVIRONMENT AT THE ORYOL STATE
UNIVERSITY NAMED AFTER I.S. TURGENEV**

В статье рассмотрен подход к формированию электронной информационно-образовательной среды ВУЗа на примере Орловского государственного университета им. И.С. Тургенева. Предложена высокоуровневая архитектура информационной системы. Представлено описание основных сервисов, реализованных в рамках электронной информационно-образовательной среды.

Ключевые слова: Электронная информационно-образовательная среда, веб-сервисы, информационные технологии.

The article considers the approach to the formation of the electronic information and educational environment of the university on the example of the Oryol State University. I.S. Turgenev. A high-level architecture of the information system is proposed. The description of the main services implemented within the framework of the electronic information and educational environment is presented.

Keywords: Electronic information and educational environment, web services, information technologies.

Процессы цифровизации и модернизации, протекающие в мире, предъявляют новые требования к формированию информационной образовательной среды в образовательных учреждениях. Современная электронная информационно-образовательная среда ВУЗа включает в себя множество сервисов, автоматизирующих различные аспекты деятельности. Перечень сервисов и обслуживаемых ими процессов постоянно расширяется. При этом необходимо организовать взаимосвязь и согласованность в работе различных сервисов. В качестве связующего звена, объединяющего все сервисы, выступает единая модель данных, описывающая все информационные объекты, существующие в рамках ВУЗа и предоставляющая к ним контролируемый доступ [1].

Все сервисы ВУЗа делятся на публичные и защищённые. Доступ к публичным сервисам должен предоставляться широкому кругу пользователей в любом удобном для них месте. Такие сервисы должны работать через стандартные протоколы сети интернет и обеспечивать пользователям оперативный доступ к необходимой им информации в любом месте. Защищённые сервисы должны быть доступны только ограниченному кругу пользователей и только в рамках ограниченной защищённой среды. Такие сервисы предоставляют доступ ко внутренней информации и персональным данным сотрудников и студентов. Аналогичным образом информация, с которой работают сервисы делится на публичную и защищённую.

В Орловском государственном университете реализована концепция разделения сервисов ВУЗа, представленная на рисунке 1.

Защищённые сервисы реализуются в рамках информационной системы управления учебным процессом (ИСУУП). Это клиент-серверное решение, которое работает в локальной сети университета. Данное приложение обеспечивает безопасную циркуляцию данных между корпусами университета без доступа к ней из сети интернет. В ИСУУП реализуются основные административные сервисы, такие как составление учебных планов, расчёт нагрузки, личный учёт, контроль успеваемости, составление расписания и др. Она построена по принципу предоставления каждому пользователю персонального клиента с набором функций, доступных именно этому пользователю в соответствии с его полномочиями. При этом количество пользователей ограничено.



Рисунок 1 – Архитектура единой информационно-образовательной среды ВУЗа

ИСУУП хранит всю информацию, связанную с деятельностью ВУЗа в собственной базе данных. Эта база также находится в защищённом контуре ВУЗа и доступ к ней возможен только из локальной сети через клиенты ИСУУП.

Для реализации общедоступных сервисов, к которым должен иметь доступ широкий круг пользователей, создано web-представительство ВУЗа в форме web-сервисов, объединённых в рамках сайта ВУЗа [2]. Данная система выступает в качестве информационной витрины ВУЗа для доступа к его сервисам. С целью обеспечения безопасности общедоступные сервисы работают с собственной базой данных, которая хранит только публичную информацию. Часть этой информации поступает из основной базы данных путём репликации данных, а остальная информация формируется непосредственно общедоступными сервисами. При этом обратный перенос информации из публичной в защищённую базу невозможен.

Все сервисы web-представительства ВУЗа можно разделить на ряд категорий, представленных на рисунке 2 [3].

Рассмотрим основные сервисы web-представительства вуза, реализованные в ОГУ им. И. С. Тургенева.

1. Образовательные сервисы. Это сервисы, которые используются при осуществлении основного вида деятельности ВУЗа – образовательной деятельности. Сервисы, относящиеся к данной категории, можно разделить на две группы – сервисы, используемые непосредственно для обучения и сервисы, используемые для организации образовательного процесса. Среди учебных сервисов выделяется система онлайн обучения. В этой системе публикуются образовательные курсы, используемые для самостоятельного изучения студентами в рамках преподаваемых дисциплин. Содержание курсов формируется преподавателями. Доступ к курсам ограничен и предоставляется только для студентов ВУЗа в соответствии с их учебными планами. К настоящему времени загружено 684 курса.

К учебным сервисам также относится сервис оценки и рецензии. Данный сервис применяется преподавателями и студентами для проверки письменных работ студентов и организации обратной связи.

К сервисам поддержки образовательного процесса прежде всего относится сервис расписания. Это самый популярный по числу просмотров сервис на настоящее время. За 2022 год было осуществлено 9,37 млн просмотров этого сервиса. Данный сервис гибко отображает расписание занятий для групп, преподавателей и по аудиториям. Также данный сервис дополняется сервисом публикации методических материалов для проведения занятий. Такой подход предоставляет студентам единое хранилище всех материалов, необходимых для обучения. При этом материалы индивидуальны для каждой обучаемой группы студентов.

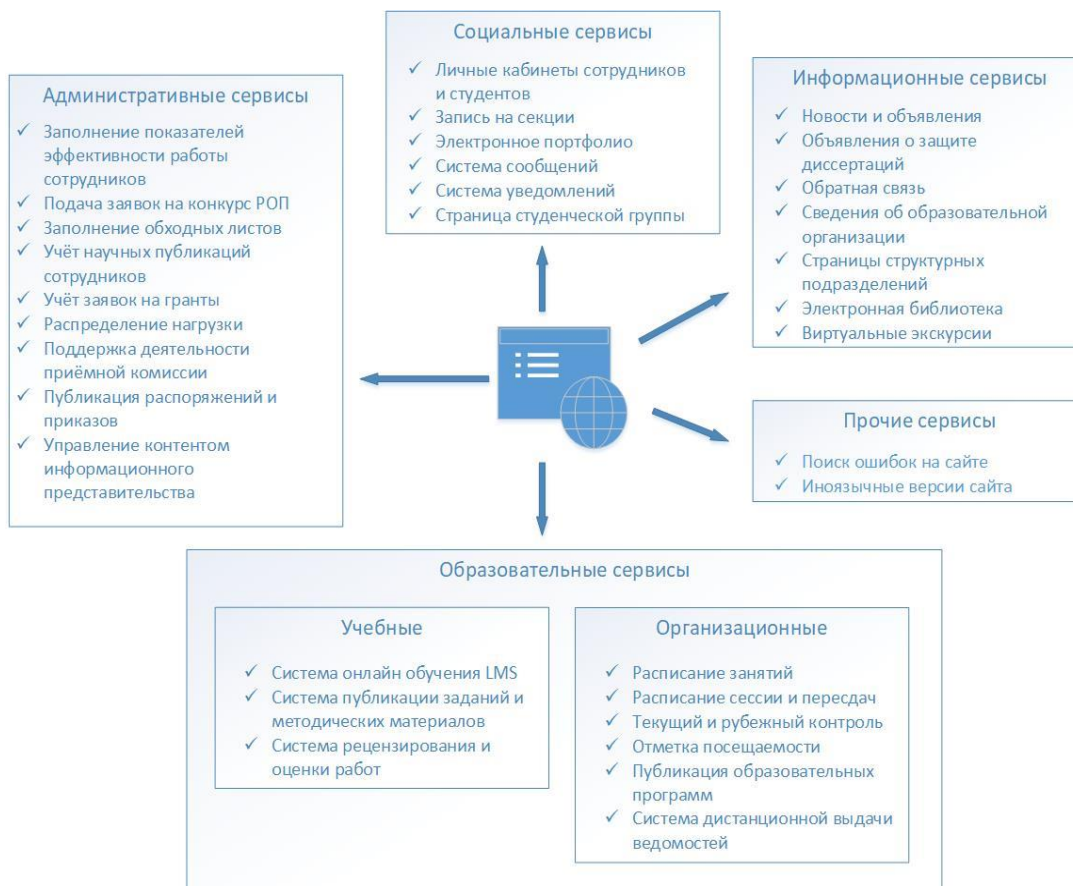


Рисунок 2 – Структура сервисов web-представительства ОГУ им. И.С. Тургенева

Сервис для текущего контроля и отметки посещения был внедрён в ОГУ им. И.С. Тургенева относительно недавно. Его основная задача, дать преподавателям возможность быстро и удобно контролировать работу студентов во время проводимых занятий. Вся накопленная информация группируется и является доступной для заведующих кафедрами, директоров, деканов и учебного управления. Применение данного сервиса делает образовательный процесс более прозрачным и снабжает руководство ВУЗа объективной информацией о его ходе.

2. Административные сервисы. Они используются для автоматизации работы сотрудников при решении внутренних административных задач. Среди административных сервисов наиболее популярным является сервис заполнения показателей эффективности работы сотрудников ВУЗа. В рамках данного сервиса каждые полгода преподаватели заполняют отчёты о проделанной работе, на основе которых формируются выплаты в рамках эффективных контрактов. Также данный сервис даёт руководству объективную картину о том, какими видами деятельности занимаются сотрудник. В дополнение к сервису учёта эффективности работы сотрудников реализован ряд специализированных сервисов для учёта деятельности сотрудников по отдельным направлениям: учёт научных публикаций сотрудников, учёт заявок на гранты, учёт повышений квалификации и др.

3. Социальные сервисы. Данная группа сервисов направлена на организацию взаимодействия между пользователями системы и поддержки реализуемых в ВУЗе социальных проектов. К ним относится сервис личных кабинетов. В личных кабинетах собрана вся необходимая пользователю информация о нём и о его статусе в ВУЗе. Личный кабинет студента предоставляет ему информацию об образовательной программе, по которой он учится, информацию о промежуточной аттестации и другие сервисы. Личные кабинеты преподавателя позволяют разместить информацию о преподавателе, его достижениях и научных интересах, а также контактные данные. Сервис портфолио студента позволяет ему загружать информацию о своих индивидуальных достижениях, которая в дальнейшем может использоваться для подачи заявок на стипендии. Система сообщений предоставляет возможность для дистанционного общения студентов и преподавателей в форме чата.

4. Информационные сервисы предназначены для информирования студентов о важных событиях из жизни ВУЗа. Среди них наиболее популярным является новостной сервис. В нём публикуются все новости о ВУЗе. Новости группируются по категориям. Наличие хэш-тегов позволяет облегчить поиск требуемой информации в новостной системе. Сервис объявлений позволяет публиковать официальные объявления, например, о предстоящих защитах диссертаций. Сервис сведений об образовательной организации используется для сбора и публикации основных сведений о ВУЗе, которые должны быть размещены на сайте в соответствии с требованиями законодательства. Сервис электронной библиотечной системы используется для предоставления доступа студентам к учебной и научной литературе, имеющейся в ВУЗе.

5. Прочие сервисы. К данной категории относятся сервисы, которые одновременно связаны с разными аспектами деятельности ВУЗа и не могут быть точно отнесены к какой-то одной категории. Сюда относятся сервис поиска ошибок в информации, опубликованной на сайте и иноязычные версии сайта.

Перечень приведённых сервисов не является исчерпывающим. Постоянно появляются новые сервисы. Благодаря приведённой архитектуре, основанной на единой модели данных и централизованном хранилище всей информации, новые сервисы легко встраиваются в перечень уже существующих сервисов ВУЗа и могут взаимодействовать друг с другом. Предложенная архитектура единой информационно-образовательной среды на основе использования множества сервисов, доступных через сайт ВУЗа, является достаточно гибкой, при этом сохраняя требуемый уровень безопасности при работе с данными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков, С.В. Опыт формирования электронной информационно-образовательной среды университета на базе гетерогенной информационной системы [Текст] / С.В. Новиков, А.Ю. Ужаринский, А.И. Фролов, А.В. Коськин, В.Н. Волков // Преподавание информационных технологий в Российской Федерации: материалы Семнадцатой открытой Всероссийской конференции (Новосибирск, 16–17 мая 2019 г.). – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2019. – 596 с. – С. 438 – 441.

2. Ужаринский, А.Ю. Место web-сервисов в системе управления образовательным учреждением [Текст] / А.Ю. Ужаринский, А.В. Коськин, Е.А. Титенко // Известия Юго-Западного государственного университета. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2012. – № 3/36. – С. 90-99

3. Ужаринский, А.Ю. Цифровой помощник для унификации доступа к сервисам и ресурсам электронной информационно-образовательной среды [Текст] / А.Ю. Ужаринский, А.И. Фролов, В.Н. Волков, А.А. Стычук, А.В. Коськин, С.В. Новиков // Преподавание информационных технологий в Российской Федерации: сборник научных трудов; материалы Восемнадцатой открытой Всероссийской конференции (Москва, 14–15 мая 2020 г.). – Москва: МФТИ, 2020. – 510 с. – С. 95 – 96.

Ужаринский Антон Юрьевич

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
К.т.н., доцент кафедры ИСиЦТ
E-mail: udjal89@mail.ru
тел: 89102645676

Коськин Александр Васильевич

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
Д.т.н., профессор, директор департамента информатизации и ПР
E-mail: kav1959@rambler.ru

Новиков Сергей Владимирович

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева
К.т.н., доцент кафедры ИСиЦТ
E-mail: serg111@list.ru

УДК 004.428.4

В.И. ХАЛИМОН, А.Ю. РОГОВ, О.В. ПРОСТИТЕНКО
V.I. KHALIMON, A.Y. ROGOV, O.V. PROSTITENKO

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ 3D-МОДЕЛЕЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ КОНСТРУКЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

USAGE OF INTERACTIVE 3D-MODELS FOR STUDYING OF TECHNOLOGICAL APPARATUS CONSTRUCTIONS

В публикации рассматривается разработка программных модулей для работы с интерактивными трёхмерными модульными моделями, ориентированными на использование в учебном процессе при изучении студентами конструкций технологических аппаратов.

Ключевые слова: 3D-модель; технологический аппарат; модульная конструкция; обучение; программа

The article considers the development of software modules for working with interactive three-dimensional modular models, focused on using in educational process when students study constructions of technological apparatus.

Keywords: 3D-model; technological apparatus; modular construction; studying; software

Изучение конструкций технологических аппаратов является важным этапом подготовки студентов по химико-технологическим направлениям ВУЗа. Традиционным подходом в обучении является сочетание теоретических знаний с практическими занятиями, на которых происходит демонстрация конструкций изучаемых аппаратов. Однако, технологические аппараты, применяемые в химической промышленности, являются довольно сложным и громоздким оборудованием, что затрудняет их демонстрацию в учебных аудиториях. Для изучения конструкции реальных аппаратов организуются занятия с выездом на химические производства, что связано с определёнными организационно-техническими трудностями. Помимо этого, даже при успешном посещении производства, у студента нет возможности ознакомиться с отдельными частями аппарата, так как разбор на части в производственных условиях не возможен, а иметь отдельную учебную базу с аппаратами довольно дорого. Кроме того, на производстве у студента нет возможности потренироваться в управлении изучаемыми аппаратами.

Трудности с организацией изучения конструкций технологических аппаратов можно решить посредством использования интерактивного программного обеспечения, ориентированного на визуализацию трёхмерных геометрических моделей, которыми можно манипулировать компьютерными средствами, включая виртуальную реальность. В предлагаемом подходе производится разработка программных модулей, ориентированных на демонстрацию моделей аппаратов определённого типа и обеспечивающих унифицированный интерфейс манипулирования этими моделями в программе. Такие программные модули содержат описательную информацию об аппаратах, данные об их конструкции, составных частях и конструктивных параметрах. Конструкцию предлагается хранить в модульном представлении, т.е. в виде набора взаимосвязанных трёхмерных моделей с описанием их принадлежности к частям аппарата и соединений между собой. Программные модули предоставляют функции по отображению модели в трёхмерном пространстве, повороту и вращению модели, приближению и отдалению модели, скрытию и отображению выделенных частей модели, отображению слоёв и описательной информации, экспорту визуального представления модели в растровые форматы (jpg, bmp, png). Кроме того, в программном модуле могут быть размещены технические характеристики реальных аппаратов, что позволяет знакомить студентов с конкретными промышленными образцами.

Разработанные программные модули предлагается объединять в библиотеки моделей по тематическим признакам, например, аппаратов процесса выпаривания (рисунок 1) [1], аппаратов процесса очистки отходящих газов (рисунок 2) [2], аппаратов процесса дробления (рисунок 3) [3], аппаратов процесса адсорбции (рисунок 4) [4], и другие.

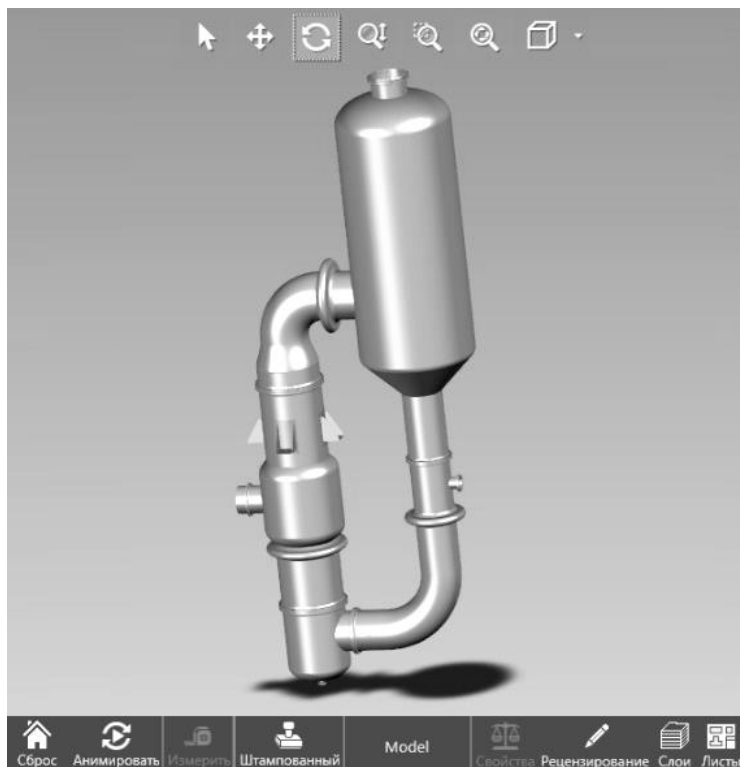


Рисунок 1 – Интерфейс программного модуля выпарного аппарата

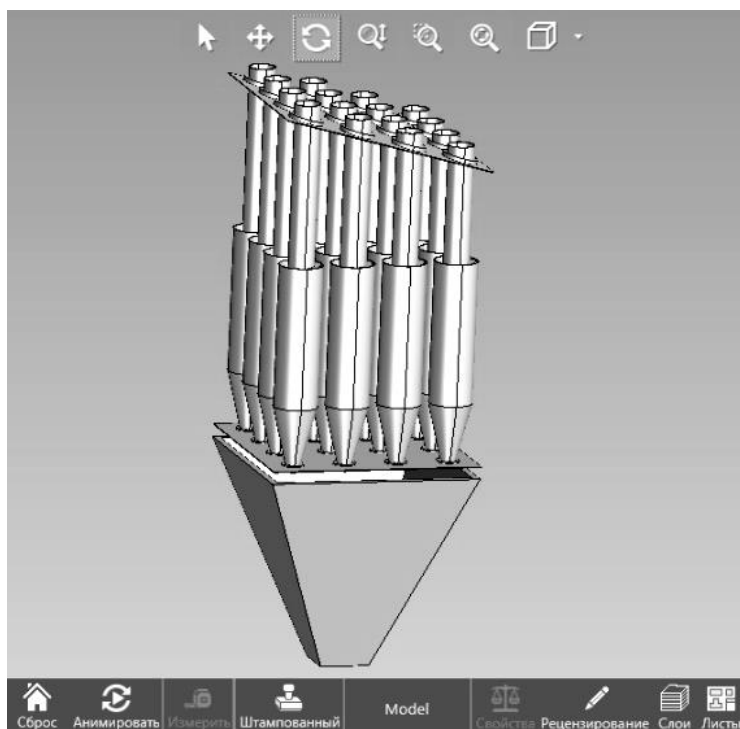


Рисунок 2 – Интерфейс программного модуля батарейного циклона

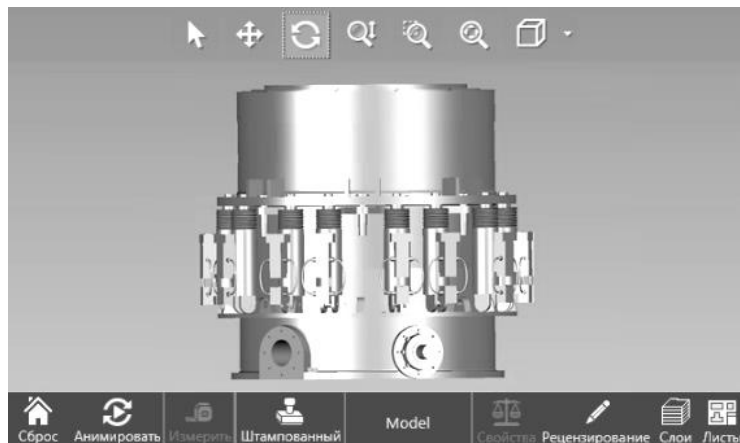


Рисунок 3 – Интерфейс программного модуля аппарата дробления



Рисунок 4 – Интерфейс программного модуля адсорбционного аппарата

При построении трёхмерных моделей используются методы геометрического моделирования на основе примитивов, на основе булевых операций и на основе каркасных сеток. Для придания поверхностям моделей аппаратов вида реальных материалов используется текстурирование на основе растровых изображений реальных объектов и изображений, генерируемых программными средствами. При визуализации материалов учитываются такие свойства, как отражение, преломление, прозрачность, шероховатость, рельефность. При освещённости сцены используется только точечный источник. Для экспорта модели в растровые форматы применяется рендеринг, который преобразует векторное представление в плоскую матрицу пикселей. При рендеринге используются эффекты скругления линий, сглаживания, размытия, шейдинга, текстурного наложения.

С точки зрения учебного процесса, применение модульных трёхмерных моделей делает работу студентов с программой более интерактивной, а также даёт возможность автоматизированной проверки знаний с помощью контрольных заданий на действия с конструктивными элементами. Модульная организация моделей аппаратов даёт возможность студенту разбирать их на части или собирать из частей в процессе работы с программой, а также позволяет продемонстрировать применение специальных операций с технологическим оборудованием. Это позволяет улучшить процесс обучения и сократить затраты времени на освоение учебного материала за счёт того, что студент может просматривать и изучать конструкции технологических аппаратов на компьютере в учебном классе или на домашнем компьютере. В дополнение к трёхмерной модели, в компьютере можно реализовать имитационную модель, которая позволит студенту потренироваться в управлении работой изучаемого аппарата.

Программные модули реализованы на языке программирования C# с помощью среды разработки Microsoft Visual Studio и программного пакета eDrawings. Перспектива развития библиотеки программных модулей трёхмерных моделей видится в создании дистанционного учебно-тренировочного комплекса для изучения конструкций и характеристик технологических аппаратов [5] или использования её как компонента в подсистеме инженерных расчётов технологических аппаратов [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рогов А.Ю. Программный модуль для визуализации 3D-моделей выпарного аппарата // Материалы XIII научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Неделя науки –2023» СПбГТИ(ТУ). - СПб.: 2023. - С. 353.
2. Рогов А.Ю. Программный компонент для отображения модульной 3D-модели циклона батарейного типа // Материалы X научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Неделя науки –2020» СПбГТИ(ТУ). - СПб.: 2020.- С. 288.
3. Рогов А.Ю. Программный модуль для визуализации 3D-моделей конусной дробилки // Материалы XII научной конференции «Традиции и инновации», посвященная 193-й годовщине образования СПбГТИ(ТУ). - СПб.: 2021.- С. 247.
4. Рогов А.Ю. Программный модуль для визуализации 3D-моделей адсорбционного аппарата / Материалы научной конференции «Традиции и инновации», посвященная 191-й годовщине образования СПбГТИ(ТУ).- СПб.: 2019.- С. 239.
5. Халимон В.И., Юленец Ю.П., Рогов А.Ю., Проститенко О.В. Разработка дистанционных образовательных комплексов в сфере организации сложных учебно-исследовательских технологий. // Известия СПбГТИ(ТУ), № 35(61). СПб.: 2016. - С. 91-94.
6. Рогов А.Ю. Разработка подсистем инженерных расчётов технологических аппаратов // Материалы XXV международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях» (ММТТ-25), Т.5. - Саратов: 2012.- С. 95-97.

Халимон Виктория Ивановна

ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), г. Санкт-Петербург

Доктор технических наук, профессор кафедры системного анализа и информационных технологий

Тел.: (812) 494-93-02

E-mail: vihalimon@gmail.com

Рогов Александр Юрьевич

ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), г. Санкт-Петербург

Кандидат технических наук, доцент кафедры системного анализа и информационных технологий

Тел.: (812) 494-93-02

E-mail: alex.rogov.spb@yandex.ru

Проститенко Олег Владимирович

ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), г. Санкт-Петербург

Кандидат технических наук, доцент кафедры системного анализа и информационных технологий

Тел.: (812) 494-93-02

E-mail: proov@mail.ru

УДК 004.9

 В.Д. ЧИКУЛАЕВ
 V.D. CHIKULAEV

РАЗРАБОТКА WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ «БИРЖА ТРУДА» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ HTML, JAVASCRIPT, PHP И СУБД MYSQL

DEVELOPMENT OF A WEB APPLICATION «LABOR EXCHANGE» USING HTML, JAVASCRIPT, PHP AND MYSQL DBMS

В данной статье автор представляет разработку web-приложения «Биржа труда» с использованием базы данных, а также взаимодействие между пользователем и сервером. В интернете имеется большое количество информационных средств, которые помогают найти работу или подобрать персонал для нее, что вызывает необходимость в создании таких ресурсов.

Ключевые слова: база данных, веб-приложение, интерфейс, проектирование, сайт, скрипт.

In this article the author presents the development of a web application «Labor Exchange» using a database, as well as interaction between the user and the server. There are a small number of information tools on the Internet that help to find a job or select staff for it, which makes it necessary to create such resources.

Keywords: database, web application, interface, design, website, script.

Биржа труда – это специализированное место, которое выступает посредником между предприятиями и индивидуальными предпринимателями с одной стороны и гражданами без работы (безработными) или работниками, которые ищут новую работу с другой стороны.

Переходим к физическому проектированию базы данных.

Используя утилиту phpMyAdmin, была создана физическая схем.

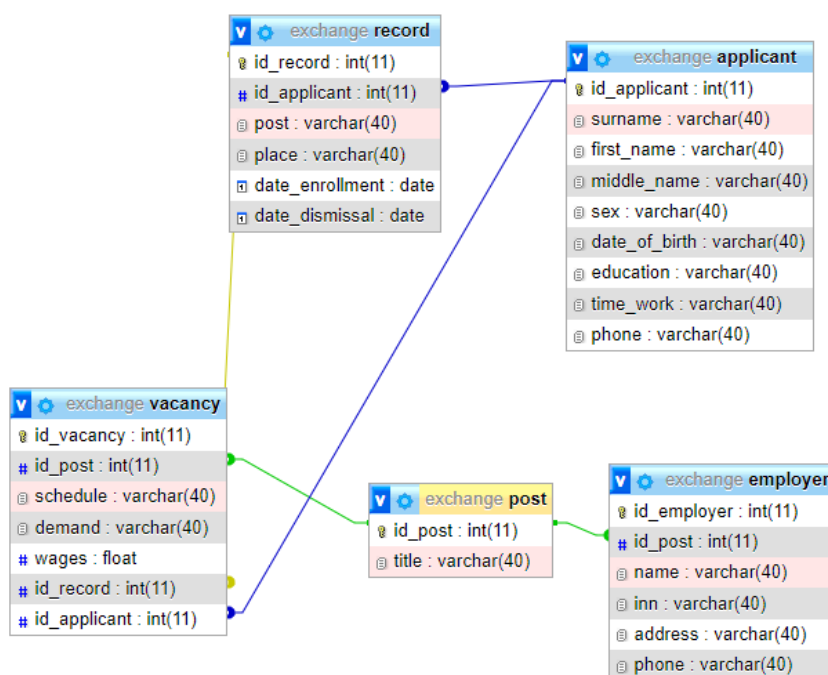


Рисунок 1 – Физическое проектирование БД.

Была разработана функциональная схема приложения исходя из требований.

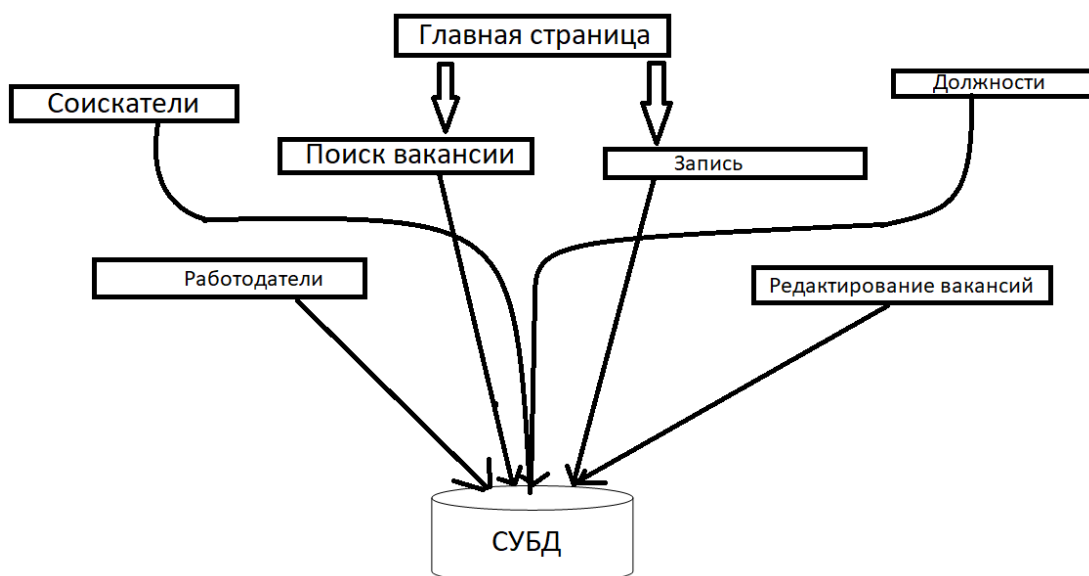


Рисунок 2 – Функциональна схема

Затем была создана модульная схема приложения.

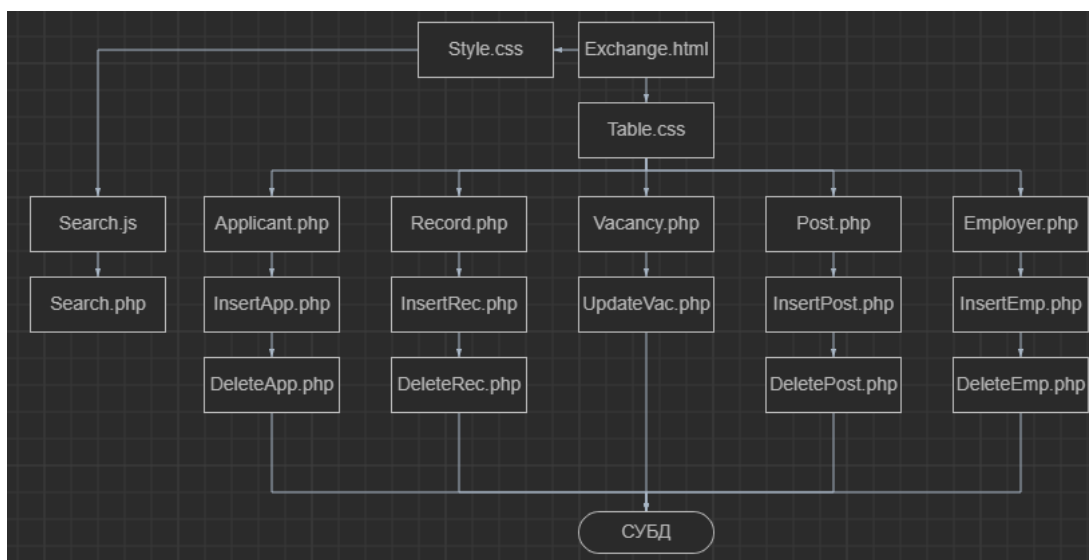


Рисунок 3 – Модульная схема

1.1 Реализация доступа к БД

Весь доступ к нашей базе данных происходит при помощи PDO (PHP Data Objects). PHP Data Objects — это расширение PHP, предоставляющее разработчику универсальный интерфейс для доступа к различным базам данных. PDO не использует абстрактные слои для подключения к базе данных, а использует собственные «родные» драйверы для разных баз данных, что обеспечивает высокую производительность. В настоящее время существуют драйвера для PDO практически для всех известных СУБД и интерфейсов. С PDO вы также можете работать с несколькими базами данных одновременно. Чтобы работать с PDO в PHP, нам сначала нужно подключить его к нашей базе данных:

Листинг 1. Подключение к базе данных.

```
$host = 'localhost';
$db = 'exchange';
```

```

$user = 'root';
$password = "";
$db = new PDO(«mysql:host=$host; dbname=$db», $user, $password);

```

Конец листинга 1.

Далее объект будет переведен в \$db, благодаря чему мы сможем работать с нашей базой данных.

PDO позволяет нам работать с данными: просматривать таблицы, изменять их значения, удалять, вставлять данные. Для этого мы будем использовать HTML, CSS и различные фреймворки, такие как JQuery и Ajax. JQuery — это библиотека JavaScript, содержащая готовые функции языка JavaScript, все операции JQuery выполняются кодом JavaScript.

Чтобы сделать добавление в базу данных, нужно воспользоваться командой insert. Данная команда работает следующим образом: скрипт принимает введенные данные с формы, после чего с помощью функции идет передача данных в саму БД. Пример добавления данных, а именно добавление новой должности листинги 2, 3.

Листинг 2. Заполнение формы для новой должности.

```

<form action=«InsertPost.php» method=«post»>
  Наименование: <input class=«add» type=«text» name=«title» placeholder=«название»
/> <br>
  <input class=«add» type=«submit» value=«Добавить»>
  <input class=«add» type=«reset» name=«reset» value=«Сброс»>
</form>

```

Конец листинга 2.

Листинг 3. Добавление новой должности.

```

$host = 'localhost';
$db = 'exchange';
$user = 'root';
$password = "";
$db = new PDO(«mysql:host=$host; dbname=$db», $user, $password);
$title = $_POST[«title»];
$sql2 = «INSERT INTO post (title) VALUES ('$title')»;
if (isset($_POST[«title»])) {
  $db->query($sql2);
  header(«Location: Post.php»);
}

```

Конец листинга 3.

Для поиска данных используется команда select. Пример работы функции листинг 4. Функция выводит данные, если все данные соответствуют о записи на эту вакансию людей.

Листинг 4. Работа функции select.

```

$host = 'localhost';
$db = 'exchange';
$user = 'root';
$password = "";
$db = new PDO(«mysql:host=$host; dbname=$db», $user, $password);
$sql = «select vacancy.id_vacancy, post.title, vacancy.schedule, vacancy.demand, vacancy.wages from applicant, record, vacancy, post where vacancy.id_record=record.id_record and vacancy.id_applicant=applicant.id_applicant and vacancy.id_post=post.id_post»;
$res = $db->query($sql);
$num_results = $res->rowCount();

```

```

echo '<table align=«center» border=1>';
echo '<tr><th>Номер вакансии</th>' .
    '<th>Должность</th>' .
    '<th>График работы</th>' .
    '<th>Требования</th>' .
    '<th>Зарплата</th>' .
    '<tr>';
$result = $res->FetchAll(PDO::FETCH_NUM);
foreach ($result as $row) {
    echo «<tr><td>$row[0]</td> <td>$row[1]</td> <td>$row[2]</td> <td>$row[3]</td>
<td>$row[4]</td> </tr>»;
}

```

Конец листинга 4.

Для запросов к базе данных использовались функции языка JavaScript и AJAX-запросы. Демонстрация работы отображена в листингах 5, 6. Функция принимает должность, по которой нужно вывести информацию, после происходит AJAX-запрос требуемому PHP-скрипту, который уже выводит информацию.

Листинг 5. AJAX-запрос на поиск данных.

```

$(function () {
    $(«form»).submit(function (event) {
        event.preventDefault();
        let data = new FormData();
        data.append('search', $(«input[type='text']»).val());
        $.ajax({
            data: data,
            type: 'POST',
            url: 'Search.php',
            contentType: false,
            processData: false,

            beforeSend: function () {
                $(«#btn»).prop(«disabled», true);
            },
            success: function (data) {
                if (!data) {
                    $(«.show»).html('Данной вакансии нет');
                }
                else {
                    $(«.show»).html(data);
                }
            },
            complete: function () {
                $(«#btn»).prop(«disabled», false);
            },
        });
    });
});

```

Конец листинга 5.

Листинг 6. PHP-скрипт для вывода информации.

```

$db = mysqli_connect('localhost', 'root', '', 'exchange');

```



```

$searchV = trim($_POST[«search»]);
$sql = «select * from vacancy, post where title Like '» . $searchV . «' and vacan-
cy.id_post=post.id_post»;
$result = mysqli_query($db, $sql);
for ($i = 0; $i < mysqli_num_rows($result); $i++) {
    $row = mysqli_fetch_array($result);
    echo «Должность: « . $row[«title»] . «<br>»;
    echo «График работы: « . $row[«schedule»] . «<br>»;
    echo «Требования: « . $row[«demand»] . «<br>»;
    echo «Зарплата: « . $row[«wages»] . «<br>»;
}

```

Конец листинга 6.

Рассмотрим функционал информационной системы и проверим реализацию пользовательского интерфейса.

Сначала пользователи попадают на главную страницу, где есть 5 разных вкладок, поиск вакансии по названию, контактная информация, дополнительная информация. Пользователь может ввести название вакансии и, если нет такой вакансии будет соответствующее сообщение. Если же вакансия найдена, то будет информация об этой вакансии.

Переходя на нужные вкладки, можно заполнять или удалять информацию в соответствии с поставленной задачей. Например, рассмотрим страницу «Добавление новой записи» (Рисунок 4).

БИРЖА ТРУДА

Добавление новой записи

Номер искателя из: СПИСКА ИСКАТЕЛЕЙ |

Должность:

Место работы:

Дата устройства:

Дата увольнения:

Удаление записи

Номер записи	Фамилия	Имя	Должность	Место	Дата устройства	Дата увольнения
1	Марков	Андрей	Охранник	Склад	2021-05-13	2022-05-20
2	Павлов	Сергей	Тестировщик	Корсаир	2021-11-09	2022-05-04
3	Марков	Андрей	Слесарь	Завод	2022-05-19	2022-07-13
4	Жукова	Наталья	Кассир	Магазин	2020-12-13	2022-12-13

Рисунок 4 – Страница с записью

Таким образом, в данной статье рассмотрено построение физической модели базы данных, спроектирована структура сайта, реализовано и протестировано web-приложение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Будилов В.А. Практические занятия по HTML. Краткий курс. - СПб.: Наука и техника, 2001. – 249 с.
2. Шкрыль А. PHP – это просто. Програмируем для Web-сайта. - СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 387 с.
3. PHP [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.php.net>.

Чичулаев Вадим Дмитриевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
 Студент 3 курса института инженерных и цифровых технологий
 Тел.: +7(919) 224-21-13
 E-mail: 1457544@bsu.edu.ru

СЕКЦИЯ 5 «ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ» SECTION 5 «ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DECISION MAKING»

УДК 004

Т.А. ЛЫСАКОВА, В.В. ЛОМАКИН
T.A. LYSAKOVA, V.V. LOMAKIN

МЕТОДИКА ПЛАНИРОВАНИЯ ЭТАПОВ ИСПОЛНЕНИЯ ИТ-ПРОЕКТА

METHODOLOGY OF PLANNING STAGES OF IT-PROJECT EXECUTION

В данной статье авторы освещают проблему планирования сроков работ в ИТ-проектах, отмечая, что в настоящее время очень высока доля ИТ-проектов, в которых наблюдается необъективное и нереалистичное планирование сроков исполнения работ, что ведёт к раздуванию сроков проекта и выход их за рамки плановых. Всё это происходит вследствие отсутствия формализованных методов принятия решений для оценки сроков исполнения работ, учитывающих конкретные этапы, исполнителей и человеческий фактор при принятии решений по планированию. Для решения этих проблем авторами предлагается методика планирования работ ИТ-проектов, учитывающая существующие недостатки системы оценки и планирования работ.

Ключевые слова: ИТ-проект, принятие решений, планирование работ, методика планирования работ проекта.

In this article, the authors highlight the problem of planning the timing of work in IT projects. They note that currently there is a very high proportion of IT projects in which there is biased and unrealistic planning of work deadlines. This leads to the inflating of the project deadlines and their going beyond the planned ones. All this is due to the lack of formalized decision-making methods for assessing the timing of work, taking into account specific stages, performers and the human factor when making planning decisions. To solve these problems, the authors propose a methodology for planning the work of IT projects, taking into account the existing shortcomings of the system of evaluation and planning of work.

Keywords: IT project, decision-making, work planning, project work planning methodology.

ИТ-проект – это мероприятие по созданию определенного продукта, программы, приложения или сервиса. Эти задачи являются довольно сложными и трудно формализуемыми. Чтобы проект достиг успешного завершения, все этапы должны быть четко и грамотно организованы, и необходимо соблюдение сроков исполнения в соответствии с планом. Именно поэтому для создания любого ИТ-продукта нужна организация команды разнопрофильных специалистов, т.к. на разных этапах разработки нужны разные навыки [1,2].

С ростом востребованности методов управления ИТ-проектами неизбежно совершенствуются методологии и инструменты самого проектного управления. При этом требуется, чтобы в условиях, когда в проекте участвуют и со стороны заказчика, и со стороны исполнителя специалисты с различной степенью подготовки, квалификации и опыта, доступность информации и необходимых проектных знаний, оперативность и форма их получения не являлась тормозящим фактором.

На основании анализа предметной области, было выявлено, что одной из проблемных сторон ИТ-проектов является их необъективное и нереалистичное планирование [3]. В частности, от-

сутствуют формализованные методы принятия решений для оценки сроков исполнения работ, учитывающие конкретные этапы и исполнителей. А именно, в планировании проекта решающую роль занимает руководитель проекта. В то время, как специалисты, имеющие опыт в конкретных задачах и имеющие возможность по опыту более точно определить длительность и сложность работ, участвуют только в разработке продукта, но не в планировании работ по его созданию.

Для решения проблемы сокращения временных затрат на выполнение ИТ-проекта и обеспечения своевременного принятия решений, предлагается использовать следующую методику планирования этапов исполнения ИТ-проекта (Рис. 1).

Предлагаемая методика включает в себя 4 этапа:

1. Планирование работ проекта и назначение команды.
2. Расчет параметров работ проекта.
3. Составление модели оценки параметров исполнения проекта.
4. Формирование базы проектов.

Данная методика представляет собой процедуру планирования и выполнения ИТ-проектов, которая с помощью формализованных методов принятия решений, осуществляет оценку сроков исполнения работ, а также учитывает конкретные этапы, исполнителей и человеческий фактор при принятии решений по планированию.

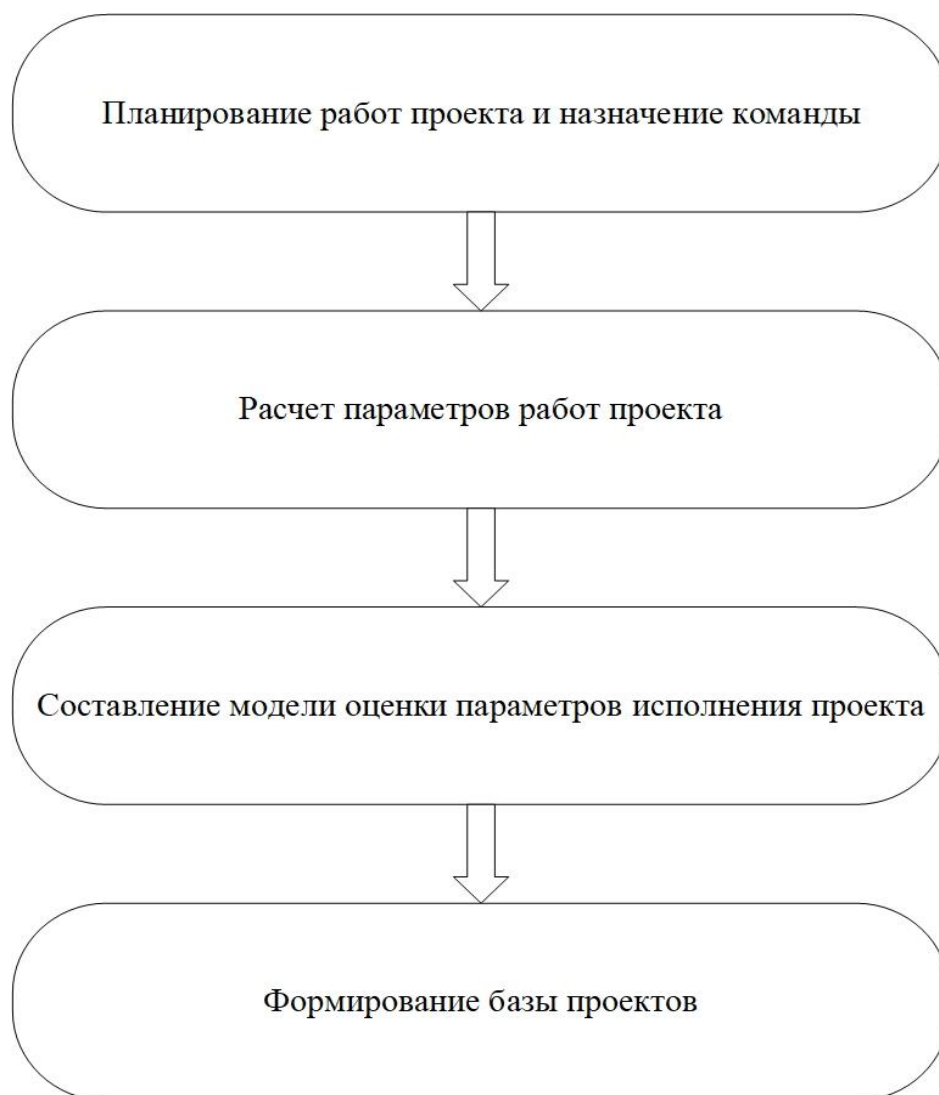


Рисунок 1 – Методика планирования этапов исполнения ИТ-проекта

Данную методику можно описать с помощью алгоритма, раскрывающего его суть (Рис. 2).

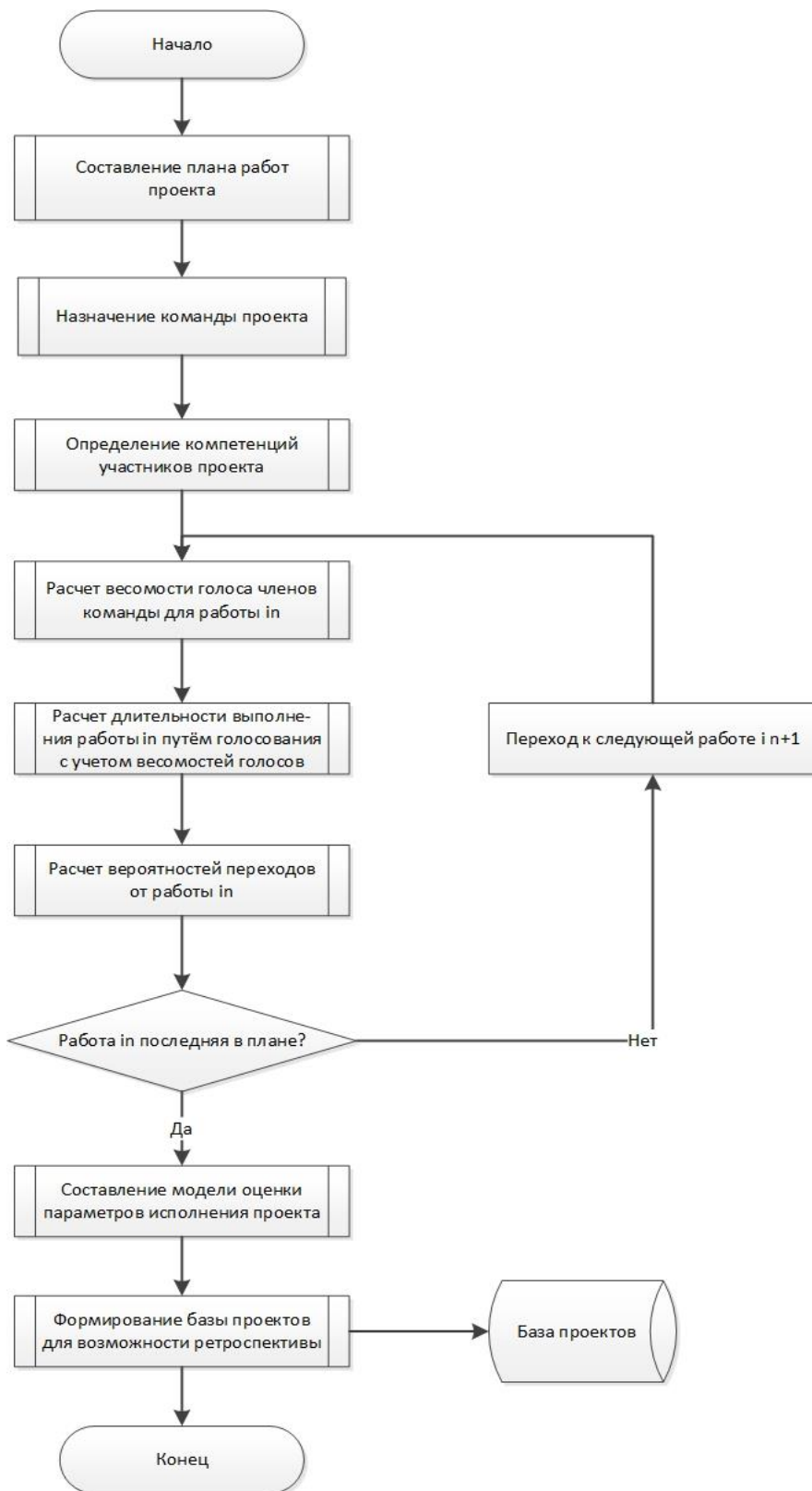


Рисунок 2 – Алгоритм процедуры планирования работ ИТ-проекта

1. Составление плана работ проекта. На данном этапе происходит отбор работ для исполнения конкретного ИТ-проекта. Разные виды проектов предполагают разный состав и содержание работ, но работы могут и пересекаться в разных видах проектов.

2. Назначение команды проекта. На данном этапе происходит формирование команды проекта, подбираются участники, которые будут реализовывать данный проект, назначаются их роли.

3. Определение компетенций участников проекта. На данном этапе определяются умения и навыки членов команды, относительно данного проекта, и эти значения приводятся к числовой форме для дальнейшего использования [4].

4. Расчет весомости голоса членов команды для работы i_n . Для каждой работы состав команды различается, т.к. различаются выполняемые на каждом этапе задачи и компетенции специалистов. Весомость голосов оценивается для каждой работы отдельно. В состав группы оценки входят не все специалисты, задействованные на том или ином этапе проекта, а контрольная группа. Весомость голосов контрольной группы производится путем расчетов с применением метода анализа иерархий.

5. Расчет длительности выполнения работы i_n путём голосования с учетом весомостей голосов. На данном этапе для каждой работы участники экспертной группы, путём голосования и дальнейшей обработки их оценок, определяют значения длительности в днях/часах.

6. Расчет вероятностей переходов от работы i_n . Этот этап аналогичен предыдущему, но происходит оценка вероятностей переходов от одной работы к другой в срок.

7. Составление модели оценки параметров исполнения проекта. На основе всех предыдущих оценок и расчетов происходит построение модели, которая позволит просчитать наступление того или иного исхода при выполнении ИТ-проекта.

8. Формирование базы проектов для возможности ретроспективы. На заключительном этапе вся информация о проекте, включая выставленные оценки, расчеты, вносится в реестр, на основе которого происходит дальнейшая проектная работа.

Таким образом, была предложена и описана методика планирования этапов исполнения ИТ-проектов, позволяющая более точно определить длительность и сложность работ в ИТ-проектах, а также позволяющая снизить степень неопределенности и неточности при планировании сроков ИТ-проектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асадуллаев Р.Г., Ломакин В.В., Ильинская Е.В., Лысакова Т.А., Резниченко О.С. Систематизация функционала комплекса средств высокоуровневой разработки/ Научно-технический Вестник Поволжья, 11. – 2018. – С. 185-188.

2. Ломазов, В. А., Ломазова В.И., Нехотина В.С. Поддержка принятия решений при оценивании ИТ-проектов/ Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 3-2. – 2015. – С.170-173.

3. Ломакин В.В., Зайцева Т.В., Путивцева Н.П., Жуков О.П., Лысакова Т.А. Проектирование компонента разработки схемы данных основных данных и моделей бизнес-процессов как составной части платформы/ Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП-2018). VII Международная научно-техническая конференция. Сборник трудов конференции. – 2018. С. 454-458.

4. Ломакин В.В., Лысакова Т.А., Маркова З.А., Михайлова С.В. Проектирование подсистем оценки персонала и ведения индивидуальных карт развития исполнителей ИТ-проектов/ информационные системы и технологии. - 3(107). – 2018. – С. 64-72.

Лысакова Татьяна Алексеевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г.Белгород
Старший преподаватель кафедры прикладной информатики и информационных технологий
Тел.: +7(4722) 301300*2166
E-mail: lysakova@bsu.edu.ru

Ломакин Владимир Васильевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г.Белгород
К.т.н., доцент, заведующий кафедрой прикладной информатики и информационных технологий
Тел.: +7(4722) 301294
E-mail: lomakin@bsu.edu.ru

УДК 005

И.В. СВИРИДОВА, А.И. ПОДПРУГИН, А.А. ВОРОНИНА, Т.В. ЗАЙЦЕВА, Н.П. ПУТИВЦЕВА
I.V. SVIRIDOVA, A.I. PODPRUGIN, A.A. VORONINA, T.V. ZAYTSEVA, N.P. PUTIVTSEVA**ВЫБОР ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПОСТАВЩИКОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ****SELECTION OF LOGISTICS SUPPLIERS ON THE BASIS OF THE METHOD OF ANALYSIS OF HIERARCHIES**

В статье рассматривается процесс выбора логистических поставщиков. Были выбраны 13 критериев для оценки. Применяя метод анализа иерархии были выявлены наиболее подходящие и наименее подходящие критерии для оценки поставщиков.

Ключевые слова: метод подбора поставщиков, метод анализа иерархий, поставщики, модель, логистика.

The article discusses the process of choosing logistics providers. 13 criteria were selected for evaluation. Using the hierarchy analysis method, the most suitable and least suitable criteria for evaluating suppliers were identified.

Keywords: supplier selection method, hierarchy analysis method, suppliers, model, logistics.

В настоящее время процесс поиска поставщиков логистических товаров является сложной и трудоёмкой задачей. Работа с поставщиками является одним из значимых направлений в деятельности компаний. Разнообразие и большое количество потенциальных поставщиков материальных потоков повышает актуальность проблемы выбора тех из них, которые смогли бы с наибольшим эффектом обеспечить надежность логистических процессов. Цепочки поставок нарушились еще во время пандемии, но антироссийские санкции полностью изменили картинку на рынке. Логистическим компаниям пришлось кардинально перестраивать многие процессы перевозки товаров. Таким образом, поиск устойчивых долгосрочных отношений является одной из главных задач предприятия [1].

Деятельность логистических предприятий в настоящее время не представляется возможной без взаимовыгодных отношений между организацией-поставщиком и организацией-покупателем. Логистическое предприятие, которое планирует заниматься поставками продукции, должно выбрать поставщика, который будет наибольшим образом соответствовать всем требованиям и критериям оценки. Данную проблему выбора поставщика можно решить при помощи экспертных методов, например, метода анализа иерархии Саати.

Метод анализа иерархии Саати представляет собой иерархическую декомпозицию проблемы на все более простые составляющие части и дальнейшей обработке последовательности суждений эксперта по парным сравнениям. Метод анализа иерархии (метод Саати) – это математический инструмент системного подхода к сложным проблемам принятия решений. МАИ не предписывает лицу, принимающему решение, какого – либо «правильного» решения, а позволяет ему в интерактивном режиме найти такой вариант (альтернативу), который наилучшим образом согласуется с его пониманием сути проблемы и требованиями к ее решению [2].

Иерархическая модель метода анализа иерархии Саати в общем виде представлена ниже (рисунок 1).

На верхнем уровне иерархической модели метода анализа иерархии Саати располагается проблема – выбор поставщиков логистических компаний.

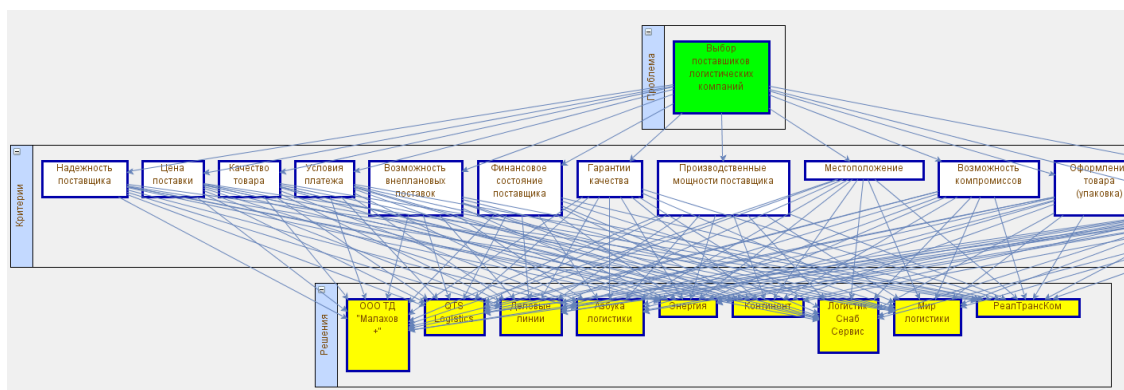


Рисунок 1 – Иерархическая модель метода анализа иерархии Саати в общем виде (фрагмент)

В настоящее время существует большое количество критериев для поиска рациональных поставщиков логистической продукции. Однако, исходя из социально-экономической обстановки в Белгородской области были выдраны следующие критерии, которые представлены ниже:

- надежность поставки;
- цена поставки;
- качество товара;
- условия платежа;
- возможность внеплановых поставок;
- финансовое состояние поставщика;
- гарантии качества;
- производственные мощности поставщика;
- местоположение;
- возможность компромиссов;
- оформление товара (упаковка);
- деловой опыт и история взаимоотношений;
- взаимность выгод и интересов.

Затем, после того как были выбраны критерии оценки логистических решений необходимо перейти к альтернативам. Под альтернативами понимаются существующие логистические предприятия. В данном случае были выбраны предприятия, которые продолжают свою деятельность в Белгородской области после введения антироссийских санкций. Такие предприятия представлены ниже:

- ООО ТД «Малахов +»;
- QTS Logistics;
- Деловые линии;
- Азбука логистики;
- Энергия;
- Континент;
- Логистик Снаб Сервис;
- Мир логистики;
- РеалТрансКом;
- Альянс.

На основании суждений эксперта строятся матрицы парных сравнений на каждом уровне по отношению к каждому критерию вышестоящего уровня. Так, например, ниже представлено сравнение решений по критерию «Условия платежа» (рисунок 2).

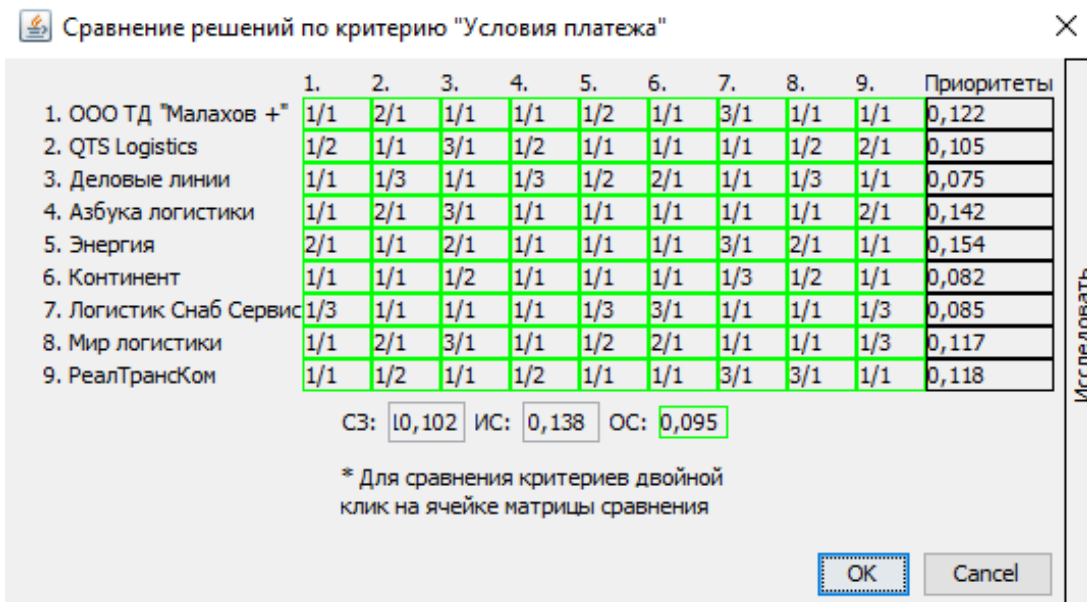


Рисунок 2 – Сравнение решений по критерию «Условия платежа»

Как видно по рисунку 2, сравнение решений по критерию «Условия платежа» проводилось по 9 предприятиям. Наиболее приоритетным логистическим предприятием вышло предприятие «Энергия», а наименее приоритетным предприятием вышло предприятие «Деловые линии».

После сравнения решений по критерию «Условия платежа» (а в дальнейшем и всех критериев), необходимо посчитать коэффициенты случайной согласованности, индекса согласованности и отношение согласованности (далее - ОС). Просчитав все вышеперечисленные критерии, по ОС можно сделать вывод правильно построена матрица решений или же нет (если $ОС < 0,1$, то матрица согласована). Полученное значение ОС по всем критериям не превосходит 0,1, что означает, что оценки эксперта согласованы.

Затем последовательно вычисляются локальные векторы приоритетов и проверяется согласованность результатов иерархии. Ниже представлено сравнение всех критериев при подборе логистических поставщиков (рисунок 3).

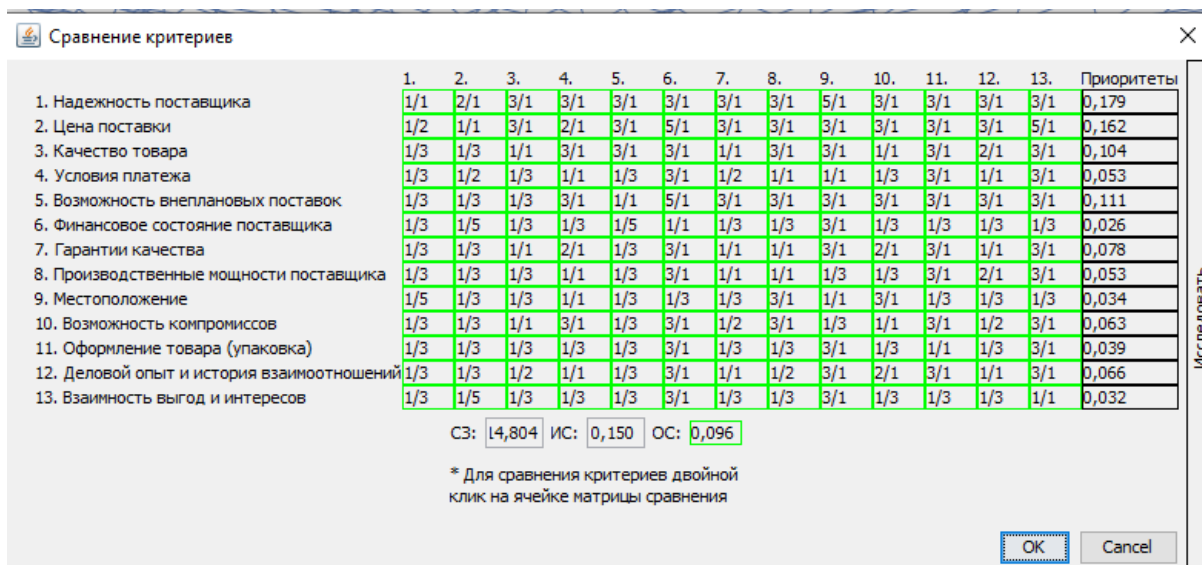


Рисунок 3 – Сравнение всех критериев при подборе логистических решений

Наименее значимыми критериями были признаны «Финансовое состояние поставщика» и «Взаимность выгод и интересов», а наиболее значимым критерием был признан «Надежность поставщика» и «Цена поставки».

После проведенного сравнения критериев локальные приоритеты альтернатив умножаются на приоритеты соответствующих критериев уровня и суммируются по каждому элементу в соответствии с критериями. В результате определяются глобальные приоритеты альтернатив с учетом приоритетов критериев. Наиболее высокий рейтинг будет соответствовать альтернативе с наибольшим значением глобального приоритета [3].

Ниже представлена диаграмма рейтинга логистических поставщиков (рисунок 4).

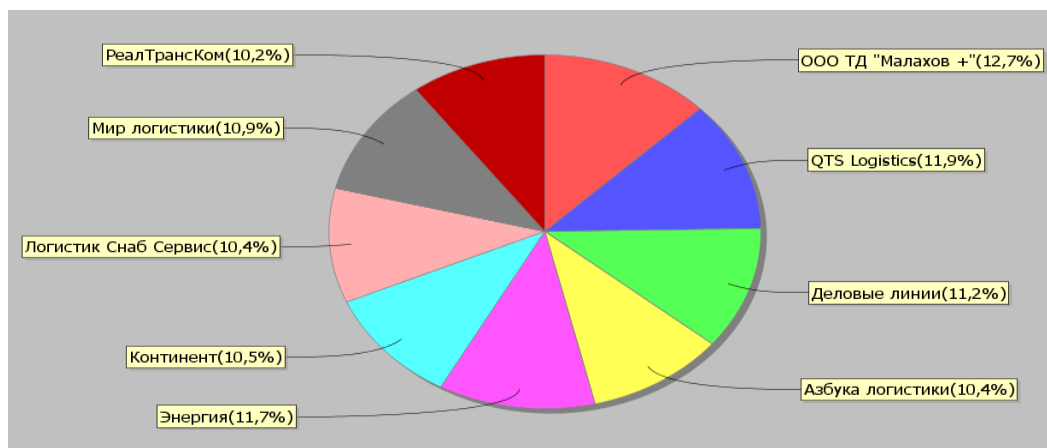


Рисунок 4 – Диаграмма рейтинга логистических поставщиков

Сравнивая полученные значения глобальных приоритетов, определяем рейтинги всех логистических поставщиков. Наибольший процент оказался у поставщика «Малахов +» (12,7%). Согласно приведенному оцениванию по методу анализа иерархии Саати предпочтение следует отдать именно этому поставщику. Однако, разница в рассчитанных значениях не большая, следовательно, можно провести дополнительное исследование, убрав наименьшие критерии.

Таким образом, предложенный подход дает объективную оценку качества деятельности поставщиков по выбранным и актуальным критериям

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карапетянц, И.В. Логистика и управление цепями поставок на транспорте: учебник для вузов / И.В. Карапетянц [и др.]; под редакцией И.В. Карапетянц, Е.И. Павловой. — Москва: Издательство Юрайт, 2023. — 362 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-14951-7. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/520326>.
2. Кравченко, Т.К. Системы поддержки принятия решений: учебник и практикум для вузов / Т.К. Кравченко, Д. В. Исаев. — Москва: Издательство Юрайт, 2022. — 292 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-8563-4. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/489756>.
3. Трофимова, Л.А. Методы принятия управленческих решений: учебник и практикум для вузов / Л.А. Трофимова, В.В. Трофимов. — Москва: Издательство Юрайт, 2023. — 335 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-01584-3. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/510561>.

Свиридова Ирина Вячеславовна

Белгородский государственный университет, г. Белгород
Аспирант кафедры прикладной информатики и информационных технологий
Тел.: +7(919)220-60-56
E-mail: sviridova@bsu.edu.ru

УДК 614.841.2.001.5

И.А. МИХАЙЛОВ, Е.С. БОРОВИНСКАЯ
I.A. MIKHAILOV, E.S. BOROVINSKAYA**ИНДЕКС ПОЖАРНОГО РИСКА ДЛЯ ОЦЕНКИ
ПОЖАРООПАСНОСТИ НА ПОЛИГОНАХ ТКО****FIRE RISK INDEX FOR ASSESSING THE FIRE HAZARD
AT MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILLS**

Пожары на полигонах твёрдых коммунальных отходов являются актуальной проблемой в России, которые наносят вред окружающей среде, здоровью человека, приводят к экономическим убыткам. Важно предотвращать возникновение пожара, так как активное горение внутри тела полигона довольно трудно устранить. В этом направлении уже имеются разработки, которые позволяют оценить риск возникновения пожара на текущий момент. В статье рассматривается данный подход, выделены его достоинства и недостатки, и как этот подход можно улучшить.

Ключевые слова: *Индекс пожарного риска, твёрдые коммунальные отходы, полигон ТКО, метан, пожар на полигоне ТКО.*

Fires at solid municipal waste landfills are a pressing problem in Russia, which causes damage to the environment, human health, and results in economic losses. It is important to prevent the occurrence of fire, as active burning inside the landfill body is quite difficult to eliminate. There are already developments in this direction, which make it possible to assess the risk of fire occurrence at the current moment. The article discusses this approach, highlights its advantages and disadvantages, and how this approach can be improved.

Keywords: *Fire risk index, municipal solid waste, landfill, methane, landfill fire.*

В настоящее время одной из самых актуальных проблем является утилизация и переработка твёрдых коммунальных отходов (ТКО). Ежегодно, в мире образуется около 2 млрд тонн ТКО [1].

Твёрдые коммунальные отходы (ТКО) – это отходы, которые образуются в результате жизнедеятельности населения (отходы сферы потребления). Эти отходы представляют собой материалы и изделия, которые непригодны для дальнейшего использования. Они накапливаются на предприятиях общественного питания, в жилых массивах, учреждениях, гостиницах и т. п.

Проблема удаления и обезвреживания ТКО для любого города и крупного населенного пункта является, прежде всего, экологической. Сбор, удаление и обезвреживание ТКО – это взаимосвязанные этапы процесса санитарной очистки населенных мест и составляют одну из наиболее сложных и важных проблем развития и функционирования городского хозяйства, улучшения условий жизни человека и общественной гигиены.

Захоронение на специализированных полигонах – это самый распространённый способ обезвреживания и утилизации ТКО. Полигон твердых коммунальных отходов – это отдельный участок земли или котлован, на который поступают коммунальные отходы. Они представляют собой комплексы природоохранных сооружений, предназначенных для складирования, изоляции и обезвреживания твёрдых коммунальных отходов. Эти комплексы обеспечивают защиту от загрязнения почвы, атмосферы, грунтовых и поверхностных вод.

Несмотря на то, что планируется снижение вывозимых на захоронение объёмов ТКО в России, захоронение отходов на полигоне остается самым распространённым способом. Однако полигон ТКО может стать «экологической бомбой» в случае возникновения пожара. Пожар на полигоне ТКО может привести к неприятному запаху, выделению опасных для человека и окружающей среды веществ в атмосферу, мусорным оползням и другим проблемам. Поэтому важно предотвращать подобные ситуации, т.к. чем длительнее происходит пожар, тем больший ущерб будет нанесён окружающей среде и человеку. Оптимальным способом предотвращения будет мониторинг текущего состояния полигона и прогнозирование возникновения пожара.

Одним из подходов, который можно применить для нахождения подземных пожаров, является определение индекса пожарного риска [2]. Данный подход был разработан на основе данных, полученных с Бриджтонского полигона ТКО в штате Миссури, США.

В качестве входных параметров используются концентрации метана, кислорода, соотношения метана к углекислому газу и температуру в газовой скважине. Также для определения возникновения пожара используется остаточный азот - часть азота, которая остаётся неиспользованной во время аэробного разложения. Были использованы еженедельные данные в промежутке от июня 2013 года до октября 2016 года.

Далее производилась категоризация параметров на безопасные и небезопасные значения. Результаты категоризации представлены в таблице 1. Безопасные и небезопасные значения метана и кислорода установлены в соответствии с эксплуатационными стандартами, указанными в разделе 40 свода федеральных правил США (CFR §60.753). Значения соотношения CH_4 к CO_2 и температуры в газовой скважине соответствуют предложенным Тальхамером [3]. Значения остаточного азота были выбраны на основе работы Эстабрукса [4]. Из полученной категоризации следовало, что в итоге возможно 2^5 или 32 события для анализа.

Таблица 1 – Безопасные и небезопасные значения параметров для определения возникновения пожара

Параметр	Значение параметров
Метан	Безопасные значения: 45-60% Небезопасные значения: <45% и >60%
Кислород	Безопасные значения: <5% Небезопасные значения: >5%
Соотношение CH_4 к CO_2	Безопасные значения: >1 Небезопасные значения: <1
Температура в газовой скважине	Безопасные значения: <80°C Небезопасные значения: >80 °C
Остаточный азот	Безопасные значения: <20% Небезопасные значения: >20%

После выполнения категоризации было проведено тестирование эффекта влияния каждого параметра на температуру. По результатам этого тестирования было выявлено, что наибольшее влияние на температуру оказывало состояние газов. Если газы находились в небезопасных значениях, температура повышалась.

В дальнейшем применялся алгоритм деревьев условного вывода, чтобы определить факторы, наиболее тесно связанные с температурами в теле полигона. Все параметры были классифицированы как безопасные и небезопасные, в то время как температура была поделена на классы «ниже 55 °C», «55-80 °C», «80-93 °C» и «93-149 °C». По результатам алгоритма, было выявлено, что небезопасные значения газовых параметров не всегда ассоциируются с высокими значениями температуры, а скорее с разными комбинациями значений.

На основе полученных данных изучалось влияние каждой комбинации параметров на температуру для исключения лишних комбинаций. Газовая комбинация состоит из метана, соотношения CH_4 к CO_2 , остаточного азота и кислорода, где значение 0 указывает на безопасные значения, а 1 – небезопасные значения. В результате получились комбинации с уровнем риска, показанные в таблице 2.

Таблица 2 – Потенциальные уровни рисков для различных газовых комбинаций

Газовые комбинации (CH_4 CH_4 : CO_2 Ост.азот O_2)	Уровни риска
0_0_0_0, 0_1_0_0, 1_0_0_0, 1_0_0_1, 0_0_0_1, 0_0_1_0	Низкий
1_0_1_0, 1_0_1_1	Средний
1_1_0_0, 1_1_0_1, 1_1_1_0, 1_1_1_1	Высокий

По полученным результатам предлагается алгоритм, состоящий из трёх этапов. На первом этапе проверяется температура в теле полигона. Если она имеет небезопасные значения, то нужно принять меры по её понижению, чтобы избежать пожара. Если же температура в безопасных значениях, то алгоритм переходит ко второму этапу, на котором проверяются значения газов. Если значения газов совпадают с одной из комбинаций, входящих в высокий уровень риска, то нужно принять превентивные меры. Если же значения газов не совпадают, алгоритм переходит к третьему этапу, где проводится проверка по комбинациям среднего уровня риска, и, если эти значения совпадают, то нужно также принять превентивные меры. В случае если они не совпадают, то полигон можно считать временно безопасным.

Данный алгоритм можно использовать для определения категории риска возникновения пожара в теле полигона ТКО, что позволит вовремя остановить распространения пожара и нанесению ещё большего ущерба окружающей среде и человеку.

Стоит отметить, что данный подход не учитывает концентрацию угарного газа, которая является одним из важных параметров, влияющий на определение пожара внутри тела полигона ТКО. Также, данный подход не позволяет спрогнозировать возможное возникновение подземного пожара в будущем. Данный подход можно использовать как основу для разработки математической модели для прогнозирования пожароопасных ситуаций на полигоне ТКО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kaza S. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050 / S. Kaza, L. Yao, P. Bhada-Tata, F. Van Woerden. – Washington, DC: World Bank, 2018. – 295 p.
2. Sabrin S. Investigating Effects of Landfill Soil Gases on Landfill Elevated Subsurface Temperature. / S. Sabrin, R. Nazari, M. G. R. Fahad, M. Karimi, J. W. Everett, R. W. Peters // Applied Science. – 2020. – V. 10. – С. 6401.
3. Data Evaluation of the Subsurface Smoldering Event at the Bridgeton Landfill [Электронный ресурс]. – URL: <https://semspub.epa.gov/work/07/30286004.pdf>
4. Estabrooks, M. Using residual nitrogen to troubleshoot wellfield performance // In Proceedings of the SWANA 36th Annual Landfill Gas Symposium – Las Vegas, NV, USA, 19 March 2013. 5 с.

Михайлов Игорь Александрович

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), г. Санкт-Петербург

Аспирант кафедры системного анализа и информационных технологий

Тел.: +7-911-824-62-80

E-mail: i.a.mikhailov@mail.ru

Боровинская Екатерина Сергеевна

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), г. Санкт-Петербург

Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры системного анализа и информационных технологий

Тел.: +7 (812) 494-93-02

E-mail: Ekaterina.borovinskaya@daad-alumni.de

УДК 005; 303.732

 С.В. ГУЛЬ, С.И. МАТОРИН
 S.V. GUL, S.I. MATORIN

ФОРМАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ТРЕХМЕРНОЙ БАЗЫ ЗНАНИЙ

FORMALIZING A THREE-DIMENSIONAL KNOWLEDGE BASE

В статье рассматривается модель базы знаний, основанная на трехмерной классификации и системно-объектном подходе «Узел-Функция-Объект». Представлено ее формальное описание средствами дескрипционной логики. Описаны процедуры использования базы знаний для прогнозирования и поддержки управления.

Ключевые слова: трехмерная база знаний, системно-объектный подход «Узел-Функция-Объект», системы-классы, системы явления.

The article considers a knowledge base model based on a three-dimensional classification and the system-object approach «Unit-Function-Object». Its formal description by means of descriptive logic is presented. The procedures for using the knowledge base for forecasting and management support are described.

Keywords: three-dimensional knowledge base, system-object approach «Unit-Function-Object», systems-classes, systems of phenomena.

В настоящее время разработаны десятки способов представления знаний, однако, до конца решить задачу обеспечения осмысленной обработки представляемых знаний и их однозначной интерпретации программными системами, пока, не удалось [1-3]. Таким образом, задача создания новых методов представления и моделирования знаний является актуальной.

В работе [4] авторами предложен способ построения трехмерной концептуальной классификационной модели, позволяющий создать модель трехмерной базы знаний, не имеющую некоторых недостатков, свойственных традиционным способам представления знаний. Данный способ основан на системно-объектном подходе «Узел-Функция-Объект» к построению классификаций.

Рассмотрим вариант формализации такой модели. Структура модели трехмерной базы знаний на основе трехмерной классификации представлена на рисунке 1.

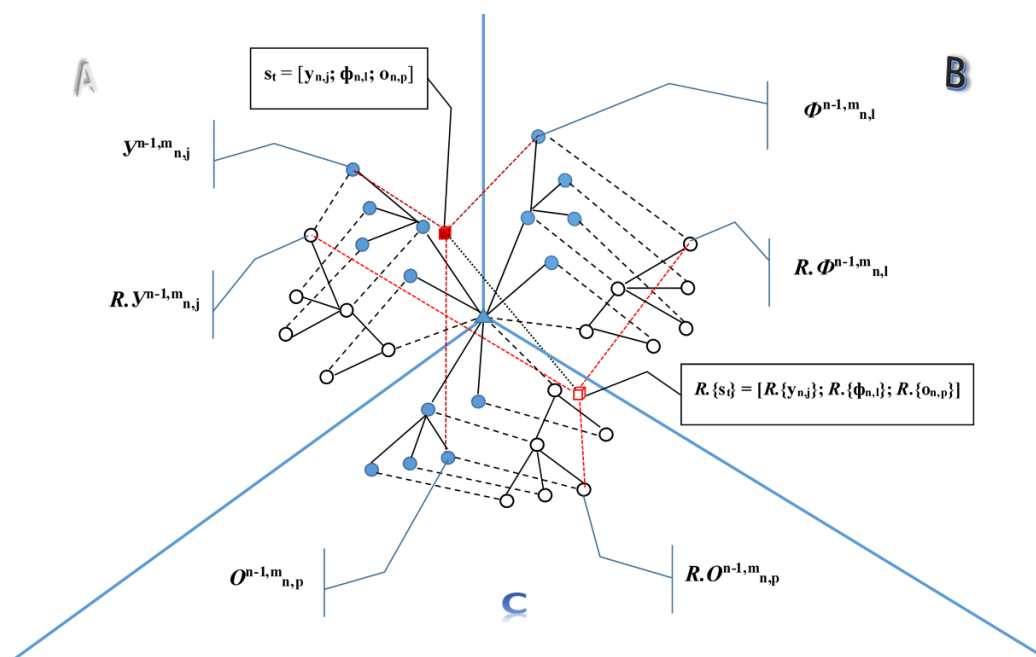


Рисунок 1 – Модель трехмерной базы знаний

На данном рисунке **A**, **B** и **C** – плоскости классифицирования, в каждой из которых размещена одна иерархическая классификация с одной вершиной: (**A**) по видам структурных характеристик (внешней детерминанты или функционального запроса, причин); (**B**) по видам функциональных характеристик (осуществляемых процессов, становления, адаптации) и (**C**) по видам субстанциональных/объектных характеристик (получаемых результатов, следствий). Таким образом, каждая классификация описывает один из аспектов системы: узловой или структурный, функциональный, субстанциональный или объектный, в соответствии с системно-объектным подходом. Они, естественно, могут отличаться по своей структуре. Закрашенный треугольник в центре пересечения осей – общий для трех классификаций самый абстрактный класс в моделируемой предметной области, не имеющий родового понятия (надкласса). Закрашенные кружки – классы объектов предметной области (системы-классы), представляющие собой подклассы разного уровня иерархии самого абстрактного класса. Не закрашенные кружки – классы свойств этих объектов (свойства-классы), представляющие собой подклассы свойств самого абстрактного класса. Как видно из рисунка, граф классификации свойств объектов изоморфен графу классификации объектов, что также соответствует системно-объектному подходу. В связи с этим базу знаний, основанную на такой модели, будем называть системно-объектной трехмерной базой знаний (СОТБЗ).

Введем обозначения для описания трехмерной классификации в терминах дескрипционной логики (ДЛ) *SHOIQ* [5].

Классы (концептуальные системы) объектов/характеристик на плоскости **A** обозначим $Y_{i+1,j}^{i,k}$ (это значит, что система-класс $Y_{i+1,j}^{i,k}$, находящаяся на $i+1$ -ом уровне иерархии и j -я по номеру, является видом/подсистемой системы-класса $Y_{i,k}^{i-1,m}$, находящейся на i -ом уровне иерархии и k -ой по номеру); классы свойств этих объектов/характеристик – $R.Y_{i+1,j}^{i,k}$. Классы объектов на плоскости **B** обозначим $\Phi_{i+1,j}^{i,k}$; классы их свойств – $R.\Phi_{i+1,j}^{i,k}$. Классы объектов на плоскости **C** обозначим $O_{i+1,j}^{i,k}$; классы их свойств – $R.O_{i+1,j}^{i,k}$. Здесь k, j и m – порядковые номера классов на i -ом, $i+1$ -ом и $i-1$ -ом уровнях иерархии соответственно. Общий для трех классификаций самый абстрактный класс объектов обозначим $Y\Phi O_{0,1}$, а его свойства $R.Y_{0,1}$, $R.\Phi_{0,1}$ и $R.O_{0,1}$ как самые абстрактные классы свойств.

Тогда классификации на плоскостях **A**, **B** и **C** могут быть описаны в терминах ДЛ *SHOIQ* как наборы терминологических аксиом (ТВох) и наборы аксиом для ролей (RBox) следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{ТВох} &= \left\{ y_{i+1,j}^{i,k} \sqsubseteq y_{i,k}^{i-1,m} \right\}; \text{RBox} = \left\{ R.y_{i+1,j}^{i,k} \sqsubseteq R.y_{i,k}^{i-1,m} \right\}. \\ \text{ТВох} &= \left\{ \Phi_{i+1,j}^{i,k} \sqsubseteq \Phi_{i,k}^{i-1,m} \right\}; \text{RBox} = \left\{ R.\Phi_{i+1,j}^{i,k} \sqsubseteq R.\Phi_{i,k}^{i-1,m} \right\}. \\ \text{ТВох} &= \left\{ O_{i+1,j}^{i,k} \sqsubseteq O_{i,k}^{i-1,m} \right\}; \text{RBox} = \left\{ R.O_{i+1,j}^{i,k} \sqsubseteq R.O_{i,k}^{i-1,m} \right\}. \end{aligned}$$

Закрашенный на рисунке кубик, соответствует системе-явлению, которое соотносится с определенным классом структурных характеристик (функционального запроса или внешней детерминанты) на плоскости **A**; с определенным классом функциональных характеристик (процессов, внутренней детерминанты) на плоскости **B** и с определенным классом субстанциональных/объектных характеристик (результатов, следствий) на плоскости **C**. Обозначим эту систему-явление (материальную систему) $s_t = [y^{n,j}; \Phi^{n,l}; o^{n,p}]$, где s_t – система-явление с номером t ; n – рассматриваем как номер последнего уровня/яруса иерархии в каждой классификации, на котором располагаются «листьевые» конкретные классы, не имеющие подклассов; j, l, p – порядковые номера классов на n -ом уровне/ярусе иерархии. Данное соотношение (классифицирование) конкретного явления (системы-явления) обусловлено соответствующим соотношением свойств этой системы (не закрашенный кубик) с классами свойств в трех плоскостях. Обозначим этот набор системных свойств $R.\{s_t\} = [R.\{y^{n,j}\}; R.\{\Phi^{n,l}\}; R.\{o^{n,p}\}]$. Используя предложенные обозначения можно

сформулировать в терминах ДЛ *SHOIQ* набор утверждений об отношениях и свойствах индивидов – *ABox*.

$$\begin{aligned} ABox &= \left\{ \{y^{n,j}\} \sqsubset y_{n,j}^{n-1,m} \right\}; ARBox = \left\{ R. \{y^{n,j}\} \sqsubset R. y_{n,j}^{n-1,m} \right\}. \\ ABox &= \left\{ \{\phi^{n,l}\} \sqsubset \Phi_{n,l}^{n-1,m} \right\}; ARBox = \left\{ R. \{\phi^{n,l}\} \sqsubset R. \Phi_{n,l}^{n-1,m} \right\}. \\ ABox &= \left\{ \{o^{n,p}\} \sqsubset O_{n,p}^{n-1,m} \right\}; ARBox = \left\{ R. \{o^{n,p}\} \sqsubset R. O_{n,p}^{n-1,m} \right\}. \end{aligned}$$

В настоящее время принято деление моделей представления знаний на концептуальные и эмпирические [8]. При этом в данной работе отмечается, что концептуальная модель делает возможным распознавание проблемы и позволяет уменьшать время для ее предварительного анализа. Однако, практическое использование концептуальной модели влечет за собой необходимость преобразования ее в эмпирическую, в которой знания могут быть накоплены в виде эмпирических моделей, как правило, описательного характера [8]. Предлагаемая же в данной работе модель трехмерной классификации, основанная на системно-объектном подходе, которую далее будем называть системно-объектной трехмерной базой знаний (СОТБЗ), объединяет в себе и концептуальные, и конкретные эмпирические знания. При этом все знания в такой БЗ структурированы, связаны между собой и формально, и содержательно описаны.

Классификация в плоскости **A** по определению представляет собой классификацию причин возникновения некоторых следствий (процессов, событий, явлений и т.д.). Классификация в плоскости **B** по определению представляет собой классификацию процессов (обстоятельств), возникающих под действием причин из классификации **A**. Классификация в плоскости **C** по определению представляет собой классификацию следствий (результатов), возникающих под влиянием обстоятельств из классификации **B**, возникающих под действием причин из классификации **A**. Можно также утверждать, что **A** является причиной следствия **C**, возникающего при условии **B**.

Такое понимание сути трехмерной классификации позволяет сформулировать процедуры использования предлагаемой трехмерной БЗ для поддержки принятия решений и прогнозирования.

Предположим требуется создать систему, соответствующую, например, классу $O_{n,p}^{n-1,m}$ объектов со свойствами, относящимися к классу $R.O_{n,p}^{n-1,m}$ объектных (субстанциальных) характеристик (см. рис. 1). Если в БЗ учтены экземпляры систем, относящихся к данному классу субстанциальных характеристик (например, система s_t со свойствами $R.\{s_t\}$), то можно определить класс (в данном примере $Y_{n,j}^{n-1,m}$ со свойствами $R.Y_{n,j}^{n-1,m}$), к которому относятся причины (требования, потребности и т.д.) появления требуемых объектов при условии выполнения функций (процессов) $\Phi_{n,l}^{n-1,m}$ со свойствами $R.\Phi_{n,l}^{n-1,m}$ (см. рис. 1). Таким образом, может быть осуществлена поддержка определения требований, мер, решений и т.п., необходимых для достижения заданного результата.

Таким образом, поддержка управления с помощью СОТБЗ обеспечивается нахождением соответствия:

$$(O_{n,p}^{n-1,m}; R.O_{n,p}^{n-1,m}) \Rightarrow (\Phi_{n,l}^{n-1,m}; R.\Phi_{n,l}^{n-1,m}) \Rightarrow (Y_{n,j}^{n-1,m}; R.Y_{n,j}^{n-1,m}).$$

Такое соответствие может быть обнаружено, если существует хотя бы одна система-явление: $s_t = [y_k^{n,j}; \phi_k^{n,l}; o_k^{n,p}]; R.\{s_t\} = [R.\{y_k^{n,j}\}; R.\{\phi_k^{n,l}\}; R.\{o_k^{n,p}\}]$ для которой справедливо:

$$\begin{aligned} \{y_k^{n,j}\} \sqsubset y_{n,j}^{n-1,m}; R.\{y_k^{n,j}\} \sqsubset R.y_{n,j}^{n-1,m}. \\ \{\phi_k^{n,l}\} \sqsubset \Phi_{n,l}^{n-1,m}; R.\{\phi_k^{n,l}\} \sqsubset R.\Phi_{n,l}^{n-1,m}. \\ \{o_k^{n,p}\} \sqsubset O_{n,p}^{n-1,m}; R.\{o_k^{n,p}\} \sqsubset R.O_{n,p}^{n-1,m}, \end{aligned}$$

где k номер системы-явления, узловая, функциональная и структурная характеристики которой относятся к соответствующим вышеперечисленным классам.

Следовательно, поддержка управления с помощью СОТБЗ сводится к следующим шагам.

1. Найти в плоскости C трехмерной классификации класс объектов (результатов) $O^{n-1,m}_{n,p}$, со свойствами/характеристиками $R.O^{n-1,m}_{n,p}$ максимально приближенными к требуемым.

2. Найти среди хранящихся в СОТБЗ систем-явлений (экземпляров) такую, у которой $o_k^{n,p} \subset O^{n-1,m}_{n,p}$ и $R.\{o_k^{n,p}\} \subset R.O^{n-1,m}_{n,p}$. Если такая система-явление существует, то перейти к 3-му шагу. Если нет, то поддержка управления с помощью СОТБЗ невозможна.

3. По структурной характеристике найденной системы-явления ($y_k^{n,j}$; $R.\{y_k^{n,j}\}$) определить класс $Y^{n-1,m}_{n,j}$ (со свойствами $R.Y^{n-1,m}_{n,j}$) мер или решений необходимых для получения требуемого результата.

4. При необходимости следует учесть процессы ($\Phi^{n-1,m}_{n,l}$; $R.\Phi^{n-1,m}_{n,l}$), которые неизбежно будут происходить при принятии найденного решения для достижения требуемого результата.

Предположим необходимо определить каковы будут последствия некоторого явления в виде принимаемых решений или мер, выдвигаемых требований, ситуаций и т.д., соответствующих, например, классу $Y^{n-1,m}_{n,j}$ узлов со свойствами, относящимися к классу структурных (узловых) характеристик $R.Y^{n-1,m}_{n,j}$ (см. рис. 1). Если в БЗ учтены экземпляры систем, относящихся к данному классу узловых характеристик (например, система s_t со свойствами $R.\{s_t\}$), то можно определить класс (в данном примере $O^{n-1,m}_{n,p}$ со свойствами $R.O^{n-1,m}_{n,p}$), к которому относятся следствия (результаты) действия упомянутых причин при условии выполнения функций (процессов) $\Phi^{n-1,m}_{n,l}$ со свойствами $R.\Phi^{n-1,m}_{n,l}$ (см. рис. 1). Таким образом, может быть осуществлено прогнозирование последствий выдвигаемых требований, принимаемых мер, решений или ситуаций и т.п.

Таким образом, прогнозирование с помощью СОТБЗ обеспечивается нахождением соответствия:

$$(Y^{n-1,m}_{n,j}; R.Y^{n-1,m}_{n,j}) \Rightarrow (\Phi^{n-1,m}_{n,jl}; R.\Phi^{n-1,m}_{n,jl}) \Rightarrow (O^{n-1,mlp}_{n,jlp}; R.O^{n-1,m}_{n,jlp}), \text{ где}$$

jl – означает, что $\Phi^{n-1,ml}_{n,jl}$ со свойствами $R.\Phi^{n-1,ml}_{n,jl}$ является функциональностью именно узла $Y^{n-1,m}_{n,j}$ со свойствам $R.Y^{n-1,m}_{n,j}$, но при этом l , как номер функции данного узла, может изменяться от 1 до некоторого значения, так как каждый узел может балансироваться не единственной функцией.

jp – означает, что $O^{n-1,mlp}_{n,jlp}$ со свойствами $R.O^{n-1,mlp}_{n,jlp}$ является объектом, реализующим функциональность именно $\Phi^{n-1,ml}_{n,jl}$ со свойствами $R.\Phi^{n-1,ml}_{n,jl}$, но при этом p , как номер объекта, реализующего данную функцию, может изменяться от 1 до некоторого значения, так как каждая функция может быть реализована не единственным объектом.

Такое соответствие может быть обнаружено, если существует хотя бы одна система-явление: $s_t = [y_k^{n,j}; \phi_k^{n,jl}; o_k^{n,jlp}]; R.\{s_t\} = [R.\{y_k^{n,j}\}; R.\{\phi_k^{n,jl}\}; R.\{o_k^{n,jlp}\}]$ для которой справедливо:

$$\begin{aligned} & \dots & \dots \\ & \{y_k^{n,j}\} \subset Y^{n-1,m}_{n,j}; R.\{y_k^{n,j}\} \subset R.Y^{n-1,m}_{n,j}. \\ & \dots & \dots \\ & \{\phi_k^{n,jl}\} \subset \Phi^{n-1,ml}_{n,jl}; R.\{\phi_k^{n,jl}\} \subset R.\Phi^{n-1,ml}_{n,jl}. \\ & \dots & \dots \\ & \{o_k^{n,jlp}\} \subset O^{n-1,mlp}_{n,jlp}; \\ & \dots & \dots \\ & R.\{o_k^{n,jlp}\} \subset R.O^{n-1,mlp}_{n,jlp}. \\ & \dots & \dots \end{aligned}$$

Следовательно, прогнозирование с помощью СОТБЗ сводится к следующим шагам.

1. Найти в плоскости A трехмерной классификации класс узлов (внешних детерминант, причин) $Y^{n-1,m}_{n,j}$, со свойствами/характеристиками $R.Y^{n-1,m}_{n,j}$ максимально приближенными к существующей ситуации.

2. Найти среди хранящихся в СОТБЗ все системы-явления (экземпляры), у которых $y_k^{n,j} \subset Y^{n-1,m}_{n,j}$ и $R.\{y_k^{n,j}\} \subset R.Y^{n-1,m}_{n,j}$. Если хотя бы одна такая система-явление существует, то перейти к 3-му шагу. Если нет, то прогнозирование с помощью СОТБЗ невозможно.

3. С учетом всех функций $\Phi_k^{n,jl}$ со свойствами $R.\{\Phi_k^{n,jl}\}$ во всех хранящихся в СОТБЗ системах-явлениях с узлом $y_k^{n,j}$ со свойствами $R.\{y_k^{n,j}\}$ определить все возможные классы функций $\Phi^{n-1,m}_{n,jl}$ с характеристиками $R.\Phi^{n-1,m}_{n,jl}$.

4. С учетом всех объектов/результатов $o_k^{n,jlp}$ со свойствами $R.\{o_k^{n,jlp}\}$ во всех хранящихся в СОТБЗ системах-явлениях с функциями $\Phi_k^{n,jl}$ со свойствами $R.\{\Phi_k^{n,jl}\}$ определить все возможные классы ожидаемых объектов/результатов $O^{n-1,m}_{n,jlp}$ с характеристиками $R.O^{n-1,m}_{n,jlp}$.

5. Если кроме структурной характеристики существующей ситуации $Y^{n-1,m}_{n,j}$, имеется информация о том какие из функций (процессов) $\Phi^{n-1,m}_{n,jl}$ реально сопровождают данную ситуацию, то число классов ожидаемых объектов/результатов $O^{n-1,m}_{n,jlp}$ можно сократить.

Из описания процедур поддержки управления и прогнозирования следует, что качество прогноза и поддержки управления с помощью СОТБЗ зависит от качества классификаций, в первую очередь от их детальности и от количества хранящейся информации о системах-явлениях. Чем последних больше, тем надежнее прогноз и поддержка управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баланова Л.А., Ющенко Е.В. Модели представления знаний: виды, применение, достоинства и недостатки // Электронный ресурс. URL: <https://files.scienceforum.ru/pdf/2020/5e04a0ce76fcc.pdf>.

2. Проблемы представления и моделирования знаний // Электронный ресурс. URL: <https://lektsia.com/6xc78c.html>.

3. Масич И.С., Краева Е.М., Кузьмич Р.И., Гулакова Т.К. Сравнительный анализ методов классификации данных на практических задачах прогнозирования и диагностики // Научно-технический журнал: «Системы управления и информационные технологии». 2011. № 1(43). С. 20-25.

4. Маторин С.И., Гуль С.В. Системно-объектное классификационное моделирование сложных предметных областей // Экономика. Информатика. 2023. №50(1). С. 152–161.

5. Schmidt-Schauss M., Smolka G. Attributive concept descriptions with complements // Artificial Intelligence. Elsevier Science Publishing Company, Inc. 1991. № 48(1). P. 1-26.

Гуль Светлана Владимировна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
 Аспирант, старший преподаватель кафедры «Информационных и робототехнических систем»
 Тел.: +7(904)5310341
 E-mail: medintseva@bsu.edu.ru

Маторин Сергей Игоревич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
 Д.т.н., профессор, профессор кафедры «Информационных и робототехнических систем»
 Тел.: +7(951)1559075
 E-mail: matorin@bsu.edu.ru

УДК 303.094.7

А.Г. ЖИХАРЕВ, В.В. БАСКАКОВА,
A.G. ZHUKHAREV, V.V. BASKAKOVA,**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ДЕЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ КАК ПОДПРОЦЕСС МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ****SIMULATION MODELING OF ORGANIZATIONAL AND BUSINESS PROCESSES AS A SUBPROCESS OF MODELING THE STRUCTURE OF COMPLEX SYSTEMS**

Авторы рассматривают понятие сложной системы, процесс системно-объектного моделирования структуры сложных систем. Так же есть описание имитационного моделирования организационно-делового процесса ведения учета абитуриентов при приеме документов на конкурс вступительного испытания как части или подсистемы (подпроцесса) ведения учета всего контингента ВУЗа.

Ключевые слова: системно-объектная модель, имитационное моделирование, организационно-деловой процесс, сложная система, формализация.

The authors consider the concept of a complex system, the process of system-object modeling of the structure of complex systems. There is also a description of the simulation of the organizational and business process of keeping records of applicants when accepting documents for the entrance test competition as part or subsystem (sub-process) of keeping records of the entire contingent of the university.

Keywords: system-object model, organizational and business process, complex system, formalization.

Обоснование актуальности и новизны темы работы заключается, в частности, в прикладном применении моделирования систем. Причем, немаловажно, что данное научное знание сегодня используется для разных сфер жизни человека.

Кроме того, именно характеристика степени разработанности проблемы, поставленные цель и задачи, обозначенная научная новизна, теоретическая и практическая значимость исследования были использованы в процессе выявления актуальности работы.

Сложная система характеризуется слабой возможностью к процессу формализации и большим количеством включенных в себя подсистем. В таком случае организационно-деловой процесс учета контингента можно рассмотреть как подпроцесс или подсистему сложной системы.

В работе описан организационно-деловой процесс на примере реализации учета контингента абитуриентов ВУЗа с особенностями ведения документации на каждого участника конкурса. Этот процесс формально регулируется не как последовательность, а имеет лишь конкретные указания с точки зрения слова закона лишь ситуационно, касаясь каждой стадии продвижения документации абитуриента и прохождения по конкурсу. Поэтапного описания реализации данного учета нет. Такая технология ведения документооборота в ВУЗах вызывает массу организационных вопросов, сложностей.

С точки зрения сложной системы процесс реализации учета контингента абитуриентов ВУЗа можно назвать подсистемой процесса полного учета всего контингента ВУЗа, с обязательными внутренними и внешними мониторингами в разрезах различных сфер деятельности.

Немаловажно учесть значимость формальных изменений в требованиях к организационным процессам такого рода. Так, например, на современном этапе уже не представляется возможным деятельность образовательной организации без проведения, как внутренних мониторингов, так и сбора статистических данных, которые анализируются и предназначаются для внешних структур.

В связи с рассмотрением подходов, методик и составляющих элементов сложных систем как понятия внимание уделялось анализу данных в данном направлении.

Конечный итог проведенной аналитической работы в отношении имеющихся подходов, которые связаны с созданием сложных систем показал, что сложными системами называются те, которые формализуются максимально слабо и включают в себя большое количество подсистем, являющихся взаимосвязанными между собой. За счет этого возможно добиться у первых из них граничных свойств, которые отсутствуют у ряда имеющихся подсистем. Практически подобными системами называют организационно-деловые системы, где подсистемой является человек, который и делает такую систему формализуемой довольно слабо.

Помимо этого, были изучены проблематика и пути ее решения в создании и осуществлении системно-структурного подхода, объектно – ориентированного и системно-ориентированного подходов. Визуально продемонстрировано то, что в качестве основной проблемы в реализации системного моделирования слабо-формализуемых объектов является отсутствие теоретической базы, которая бы содержала в себе ключевые методы и инструменты по описанию реальных объектов для того чтобы изучать их работу и эволюцию.

Рассмотренные теоретические положения теории систем позволяют сказать что, теория систем и принципы системного анализа основаны на системно-объективном подходе.

В качестве базы развития и становления такой интерпретации теории систем, называют возможность осознания системы в качестве особого функционирующего объекта, где его функция связана с осуществлением функций объектов более высокого ранга, чем она.

В качестве идеализированного объекта теории систем, который основан на системно-объектном подходе, в качестве своеобразной «идеальной» модели выступает элемент «Узел – Функция- Объект» (далее – УФО –элемент). Он создается под непосредственным действием структурных, функциональных и субстанциональных свойств системы.

На сегодняшний день элементами логики теории относят правила создания системной композиции, возможность классифицировать потоки связи, которые являются базой для того, чтобы сформулировать и создать практическим путем УФО- элементы.

В общей сложности, общностью законов и позиций теории систем, которые связаны на системно-объектном подходе, называют необходимость описать взаимосвязь общесистемных закономерностей, а также доказать расширенное понимание принципа моноцентризма, который был в свою очередь обоснован и изучен со стороны А.А.Богданова.

Представленные элементы структуры теории систем, которые основаны на системно-объектном подходе, включают в себя ряд концептуальных положений:

1. Систему принято изучать в качестве функционального объекта или класса. Ее функциональные особенности и роль связана с функцией или ролью самого объекта, который отличается высоким классом (иначе – надсистема). Но, несмотря на это, изучается также две разновидности систем, а именно системы-явления (к примеру, внутренние системы по Шрейдеру), а также системы-классы (внешние системы по Шрейдеру и пр.).[1]

2. У любой системы есть особая взаимосвязь с прочими системами. Их связь является определенным потоком элементов более глубокого класса. Но в этой связи, отношения между одной системой с другими являются функциональными, а отношения , формируемые между подсистемами одной системы являются поддерживающими.

3. Явление процесса, при котором происходит обусловленность функциональной особенности системы, которое рассмотрено в работе, выступает в качестве особого функционального запроса надсистемы на систему, имеющую определенную функцию.

4. Основанием ее появления выступает внешняя детерминанта системы, она также определяет цели и задачи «жизни» и функционирования системы, ее ключевых свойств. В результате, внешняя детерминанта системы выступает как универсальный фактор, образующий имеющиеся на практике системы.

5. Действия системы, которые находятся под непосредственным воздействием внешней детерминанты выступают в качестве ее внутренней детерминанты. Именно последняя способна определить ее свойства, находящиеся внутри системы.

6. Действия системы, учитывая внешнюю детерминанту устанавливают между самой системой и надсистемой особые отношения.

7. Действия, которые связаны с приближением внутренней детерминанты системы к внешней ее составляющей выступают в качестве адаптированных ситуаций, в которых будет находиться система к положениям имеющейся надсистемы. В этом случае внутренние и внешние детерминанты будут полностью отражать отношения области функциональных состояний (ОТФС), учитывая запросы надсистемы к области допустимых функциональных состояний (ОДС) для необходимой системы. Подобное отношение будет называться мерой системности (M_s). Система будет выступать максимально адаптированной в случае, когда значение M_s стремится к нулю и достигает его. В этом случае, когда формируется система с желаемой функцией в узле надсистемы по запросу последней должны быть выбраны исходные материалы, которые будут использованы для системы, где будут справедливы ряд неравенств:

$OДС > ОТФС$ и $0 > M_s < 1$. В реальной жизни отсутствуют системы, в которых имеются показатели $M_s = 0$ или $M_s = 1$. Адаптация системы к изменяющемуся запросу надсистемы представляет собой процесс эволюции системы.

8. В качестве следствия, которое описывает дефиницию «система» и ее связи, которые она заключает между другими системами, выступает в качестве конструкции, где участвуют три элемента, а именно «Узел-Функция-Объект» (УФО- элемент), где:

– узел — является структурным элементом надсистемы, которые представляет собой перекресток связей/потоков данной системы с другими системами;

– функция — выступает в качестве элемента надсистемы, который представлен в динамическом состоянии, а также который способен исполнять ту или иную роль, учитывая необходимость поддерживать надсистемы за счет поиска баланса между связями данного узла;

– объект — выступает в качестве субстанциального элемента надсистемы, который способен реализовать данную функцию как некоторое образование материального вида, который к тому же будет обладать разного рода особенностями.

9. Чтобы объединить систему из разного рода элементов, которые включены в состав УФО- элементов, определяются определенные правила ее функционирования.

С помощью представленных положений становится более понятным то, как можно представить систему. В частности, она является средством, с помощью которого придется решать проблему, определяя узел, где будет находиться система.

За счет того, что система описывается в части применения конструкции «Узел-Функция – Объект» позволяет определиться с тем, что структурная часть системы выступает в качестве ее основы. Именно она способна охарактеризовать ее полностью и описать в качестве элемента системы высшего яруса (который является надсистемой). В результате, узел входящей и выходящей связей способен описать цель представленной системы, которую она должна исполнить как одна из частей надсистемы.

Благодаря тому, что в работе была обоснована схема существующих связей между общесистемными принципами, это стало возможным показать на рис. 1. За счет этого, можно показать, насколько однозначной является зависимость имеющихся закономерностей, которые касаются функциональных свойств системы (на рисунке – цифра 2), от тех правил, по которым можно описать структурные свойства системы (на рисунке – цифра 1), а также связь правил, которые связаны с объектными свойствами систем в целом (на рисунке – 3) от функциональных правил.

За счет того, что были выявлены отношения между представленными общесистемными принципами и правилами, стало возможным определиться с необходимыми и достаточными условиями, в соответствии с которыми появляется системный эффект или явление эмерджентности. В частности, в базе системных отношений имеется особая иерархичная структура, где подсистема к системе и система к надсистеме будут представлены в особых отношениях. Именно они позволяют обобщить и увеличить имеющееся разнообразие на нижних уровнях на верхнем или их свойства для верхних уровней. [1]

Таким образом, характеристики системы в общей структуре невозможно обнаружить у ее подсистем, а также их нельзя получить путем сложения их свойств. Но, структурные общесистемные правила рассматриваются в качестве необходимых условий эмерджентности, при этом функциональные выступают в качестве достаточных условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.Г. Жихарев Методы и средства системно-объектного моделирования структуры и функций сложных систем// Электронная библиотека «НИУ БелГУ» 2022. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук, С.14-20
2. В.В. Баскакова, А.Ю. Пашкова Анализ применения современных технологий контрольно-оценочной деятельности обучающихся//Вестник ГГНТУ. Гуманитарные и социально-экономические науки, том XVIII, № 4 (30), 2022. С. 62-70
3. С.И. Маторин, А.Г. Жихарев Закономерности эволюции систем при изменении функциональных требований // Труды Института системного анализа Российской академии наук. 2020. Т 70. № 2. С. 30-38.

Жихарев Александр Геннадиевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
д.т.н., доцент кафедры информационных и робототехнических систем.
Тел.:89511559075
E-mail: zhikharev@bsu.edu.ru

Баскакова Валентина Валерьевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
Аспирант кафедры информационных и робототехнических систем.
Тел.:89803204294
E-mail: 522540@bsu.edu.ru

УКД 004.67

И.Ю. КВЯТКОВСКАЯ, ВО ТХИ ХУЕН ЧАНГ, ЧАН КУОК ТОАН
I.Y. KVYATKOVSKAYA, VO THI HUYEN TRANG, TRAN QUOC TOAN

РАЗРАБОТКА МЕРЫ СХОДСТВА ДЛЯ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ МЕТОДА АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИМПЛИКАЦИИ

DEVELOPMENT OF A SIMILARITY MEASURE FOR A RECOMMENDER SYSTEM BASED ON THE METHOD OF ANALYSIS OF STATISTICAL IMPLICATION

Мера сходства играет важную роль в рекомендательной системе совместной фильтрации, основанной на пользователях, поскольку она напрямую влияет на результаты рекомендательной системы. Чтобы определить меру сходства между двумя пользователями в рекомендательной системе, предлагается множество решений, таких как: использование статистической корреляции, использование косинусного расстояния между двумя векторами, использование ассоциативных правил и т.д... В этой работе предлагается мера сходства, основанную на методе анализа статистической импликации. Мера сходства между двумя пользователями определяется на основе суммы расстояний статистической импликации ассоциативных правил, которые склонны отдавать предпочтение контр примерам (число объектов, которые удовлетворяют свойству a , но не удовлетворяют свойству b в ассоциативном правиле $a \rightarrow b$), созданным на основе данных ранжирования двух пользователей.

Ключевые слова: мера сходства, рекомендательная система, анализ статистической импликации, мере интенсивности статистической импликации, рейтинг продуктов, рейтинговая матрица, ассоциативное правило.

The measure of similarity plays an important role in the recommender system of collaborative filtering based on users, since it directly affects the results of recommender systems. To determine the measure of similarity between two users in a recommender system, many solutions are proposed, such as: using statistical correlation, using cosine distance between two vectors, using association rules, etc... In this paper, he proposes a measure of similarity based on the statistical implication analysis method. The measure of similarity between two users is determined based on the sum of the statistical implication distances of the association rules, which tend to favor counter-examples (the number of objects that satisfy property a but not property b in the association rule $a \rightarrow b$) generated from the ranking data of the two users.

Keywords: similarity measure, recommender system, statistical implication analysis, statistical implication intensity measure, product rating, rating matrix, association rule.

Мера сходства на основе интенсивности статистической импликации – это мера, используемая для определения значения сходства между двумя пользователями на основе набора ассоциативных правил, созданных на основе данных рейтинга двух пользователей, и меры интенсивности статистической импликации. Мера сходства на основе интенсивности статистической импликации между двумя пользователями u_a, u_b определяется по следующей формуле:

$$SIS(u_a, u_b) = 1 - \sum_{i=1}^k II(r_i) / k \quad (1)$$

где, $SIS(u_a, u_b)$ – мера сходства между двумя пользователями u_a, u_b ; $II(r_i)$ – величина интенсивности статистической импликации ассоциативного правила r_i ; k – количество правил ассоциации в наборе правил ассоциации, созданном на основе данных ранжирования двух пользователей u_a, u_b .

Мера интенсивности статистической импликации $\varphi(a,b)$ правила $a \rightarrow b$ определяется формулой [1]:

$$\varphi(a,b) = 1 - \sum_{k=\max(0, n_A - n_B)}^{n_{AB}} \frac{C_{n_B}^{n_A - k} C^{k n - n_B}}{C_n^{n_A}}. \quad (2)$$

где, n – количество пользователей, $n_A = |A|$ и $n_B = |B|$ – количество элементов множеств A и B ; $n_{AB} = |A \cap \bar{B}|$ – число контр примеров (это число объектов, которые удовлетворяют свойству a , но не удовлетворяют свойству b).

Псевдокод алгоритма для определения меры сходства статистической импликации между двумя пользователями u_a, u_b , определяется следующим образом:

Входные данные: рейтинговые данные для продуктов двух пользователей u_a, u_b .

Вывод: значение сходства между двумя пользователями u_a, u_b .

Начало

Шаг 1. Производится сгенерировать ассоциативных правил из рейтинговой матрицы пользователя.

Шаг 2. Производится выбрать ассоциативные правила для двух пользователей u_a, u_b :

<Выбрать продукты, оцененные пользователями $u_a : I_{u_a}$ >;

<Выбрать продукты, не оцененные пользователями $u_b : \bar{I}_{u_b}$ >;

<Выбрать ассоциативные правила вида $X \rightarrow Y$, где $X \in I_{u_a}$; $Y \in \bar{I}_{u_b}$ и $X \cap Y = \emptyset$ >

Шаг 3: Производится вычислить значения параметров n, n_A, n_B, n_{AB} для каждого правила из выбранного набора ассоциативных правил.

Шаг 4: Производится вычислить величину интенсивности статистической импликации для выбранного набора ассоциативных правил.

Шаг 5: Производится вычислить сходство между двумя пользователями u_a, u_b :

<Вычислить среднее значение интенсивности статистической импликации для набора правил ассоциации \bar{S} >;

<Определить значение сходства между двумя пользователями u_a, u_b :

$$SIS(u_a, u_b) = 1 - \bar{S} >.$$

Примечание: $0 \leq \Pi(r_i) \leq 1$, то $0 \leq \sum_{i=1}^k \Pi(r_i) / k \leq 1$. Таким образом, $SIS(u_a, u_b) \in [0,1]$.

Пример 1: Учитывая рейтинговую матрицу двух пользователей, оценивающих 4 продукта, представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Рейтинговая матрица двух пользователей

	i_1	i_2	i_3	i_4
u_1	0	4	4	1
u_2	0	0	4	0

Первым шагом является создание ассоциативных правил из матрицы ранжирования. Затем производится выбор правила для двух пользователей u_1, u_2 . Ассоциативные правила двух пользователей показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Ассоциативные правила двух пользователей u_1, u_2

№	Ассоциативные правила
1	$\{i2=4\} \Rightarrow \{i1=0\}$
2	$\{i4=1\} \Rightarrow \{i1=0\}$
3	$\{i3=4\} \Rightarrow \{i1=0\}$
4	$\{i3=4\} \Rightarrow \{i2=0\}$
5	$\{i3=4\} \Rightarrow \{i4=0\}$
6	$\{i2=4, i4=1\} \Rightarrow \{i1=0\}$
7	$\{i2=4, i3=4\} \Rightarrow \{i1=0\}$
8	$\{i3=4, i4=1\} \Rightarrow \{i1=0\}$
9	$\{i2=4, i3=4, i4=1\} \Rightarrow \{i1=0\}$

Следующим шагом является определение параметров $n, n_A, n_B, n_{A\bar{B}}$ для каждого правила ассоциации и вычисление величины интенсивности статистической импликации на основе этих параметров. Результаты этого шага представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Значение параметров и величина интенсивности статистической импликации каждого правила ассоциации

№	Правило ассоциации	n	n_A	n_B	$n_{A\bar{B}}$	Интенсивность
1	$\{i2=4\} \Rightarrow \{i1=0\}$	2	1	1	0	0,49
2	$\{i4=1\} \Rightarrow \{i1=0\}$	2	1	1	0	0,49
3	$\{i3=4\} \Rightarrow \{i1=0\}$	2	2	1	1	0,38
4	$\{i3=4\} \Rightarrow \{i2=0\}$	2	2	1	1	0,38
5	$\{i3=4\} \Rightarrow \{i4=0\}$	2	2	1	1	0,38
6	$\{i2=4, i4=1\} \Rightarrow \{i1=0\}$	2	1	1	0	0,49
7	$\{i2=4, i3=4\} \Rightarrow \{i1=0\}$	2	1	1	0	0,49
8	$\{i3=4, i4=1\} \Rightarrow \{i1=0\}$	2	1	1	0	0,49
9	$\{i2=4, i3=4, i4=1\} \Rightarrow \{i1=0\}$	2	1	1	0	0,49

Наконец, сходство между пользователями u_1, u_2 определяется следующим образом:
 $SIS(u_a, u_b) = 1 - 0,45 = 0,55$

Алгоритм поддержки принятия решения для прогноза рейтинга продуктов при отсутствующих оценках на основе меры сходства статистической импликации

Рекомендательная модель совместной фильтрации, основанная на мере сходства статистической импликации определяется следующим образом:

$$CFRS = \langle U, I, R, F \rangle \quad (3)$$

где, $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ – множество n пользователей системы; $I = \{i_1, i_2, \dots, i_m\}$ – множество m продуктов системы; $R = \{r_{j,k}\}$ – рейтинговая матрица пользователей для продуктов, где каждая строка представляет пользователя u_j ($1 \leq j \leq n$), каждый столбец представляет продукт i_k ($1 \leq k \leq m$), $r_{j,k}$ – это значение рейтинга пользователя u_j для продукта i_k ; $F: U \times I \times R \rightarrow I_{u_a}$ – это вычислительная функция, позволяющая определить продукты, которые необходимо рекомендовать пользователю $u_a \in U: I_{u_a} = \{i_{u_a}^1, \dots, i_{u_a}^N\}$

Псевдокод алгоритма поддержки принятия решения для прогноза рейтинга продуктов при отсутствующих оценках на основе меры сходства статистической импликации:

Входные данные: Набор пользователей U , набор продуктов I , рейтинговая матрица пользователей для продуктов R , пользователю нужна рекомендация u_a .

Выход: Продукты, которые необходимо рекомендовать пользователю $u_a \in U: I_{u_a} = \{i_{u_a}^1, \dots, i_{u_a}^N\}$.

Начало

Шаг 1: Определить список k пользователей, похожих на пользователя u_a .

Для каждого пользователя $u_i \in U$ выполнить:

<Определение значения меры сходства между u_a и u_i с использованием меры сходства статистической импликации: $SIS(u_a, u_i)$ >;

<Сортировать список пользователей по убыванию значения сходства>;

<Выберите первых k пользователей с наибольшим значением меры сходства: $N(u_a)$ >.

Шаг 2. Производится рассчитать прогнозируемые рейтинги продуктов:

<Определить продукты, которые пользователь u_a не оценил ($r_{a,k} = \emptyset$)>;

<Рассчитать прогнозируемые рейтинги для этих продуктов по формуле:

$$\bar{r}_{a,k} = \frac{1}{\sum_{i \in N(a)} s_{a,i}} \sum_{i \in N(a)} s_{a,i} r_{i,k}, \text{ где } s_{a,i} - \text{значения сходства между } u_a \text{ и } u_i, r_{i,k} - \text{значение рейтинга}$$

пользователя u_i для продукта i_k >.

Шаг 3: Выбрать продукты для рекомендации пользователю u_a :

<Сортировать продукты по убыванию значения прогнозируемых рейтингов продуктов>;

<Выбрать продукты с наивысшим значением прогнозируемых рейтингов, чтобы представить пользователю u_a >.

Пример 2. Чтобы более наглядно увидеть шаги алгоритма, предположим, что система предлагает пользователям выбрать 8 продуктов (от i_1 до i_8), и в настоящее время в системе есть 10 пользователей (от u_1 до u_{10}), которым присвоены рейтинги продуктов. Товары оцениваются по шкале от 1 до 5 («1» — самая низкая оценка; «5» — самая высокая оценка; а «?» — продукт не имеет рейтинга

от пользователя). Система должна рекомендовать продукты новому пользователю u_a с коэффициентом k , равным 4 (рассчитывается для 4 похожих пользователей), как показано на таблице 4.

Таблица 4 – Рейтинговая матрица между пользователями и продуктами

	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5	i_6	i_7	i_8
u_1	?	4,0	4,0	1,0	2,0	2,0	?	?
u_2	3,0	?	?	?	5,0	1,0	?	?
u_3	4,0	?	?	3,0	2,0	2,0	?	3,0
u_4	3,0	?	3,0	2,0	1,0	?	5,0	4,0
u_5	1,0	1,0	?	?	?	?	?	1,0
u_6	?	1,0	?	?	?	1,0	?	1,0
u_7	1,0	4,0	?	2,0	?	4,0	4,0	?
u_8	5,0	?	4,0	3,0	?	2,0	3,0	1,0
u_9	?	1,0	3,0	?	?	?	1,0	?
u_{10}	2,0	?	?	?	?	3,0	2,0	1,0
u_a	?	?	4,0	2,0	?	1,0	?	3,0

Из этого требования система определяет список пользователей, похожих на u_a , на основе меры сходства статистической импликации, включая: u_1, u_4, u_7, u_8 , как показано на рисунке 1:

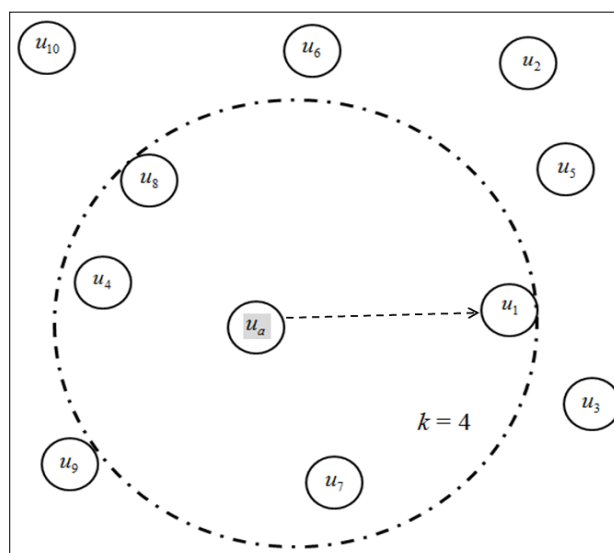


Рисунок 1 – Определение список пользователей, похожих на пользователя u_a при $k = 4$

Таблице 5 – Расчет списка прогнозируемых продуктов для пользователя u_a

	i_1	i_2	i_3	i_4	i_5	i_6	i_7	i_8
u_a	?	?	4,0	2,0	?	1,0	?	3,0
r_a	3,0	4,0			1,5	4,0		

На основе списка похожих пользователей система производится вычислить значение рейтинга для продуктов пользователя u_a , которых без рейтинга и дает пользователю u_a рекомендуемые продукты, включая: i_1, i_2, i_7 , как показано на таблице 5.

Заключение

В этой работе разработана мера сходства для рекомендательной системы на основе метода анализ статистической импликации. Разработан алгоритм поддержки принятия решения для прогноза рейтинга продуктов при отсутствующих оценках на основе меры сходства статистической импликации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Квятковская И. Ю., Во Тхи Хуен Чанг, Чан Куок Тоан. Модель и алгоритм поддержки принятия решения по выбору продуктов для рекомендации пользователю на основе метода анализа статистической импликации // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика 2023. № 2. С. 116-124. <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2023-2-116-124>. EDN UHNZRL/
2. David H. Glass. Confirmation measures of association rule interestingness // Knowledge-Based Systems, – 2013, 44, pp. 65-77.
3. Шуршев В.Ф., Кочкин Г.А., Кочкина В.Р. Модель системы поддержки принятия решений на основе рассуждений по прецедентам // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2013. № 2. С. 175-183.
4. Kvyatkovskaya I.Y., Shurshev V.F., Frenkel M.B. Methodology of a support of making management decisions for poorly structured problems // Communications in Computer and Information Science. 2015. Т. 535. С. 278-291.
5. R. Gras, P. Kuntz. An overview of the Statistical Implicative Analysis (SIA) development // Statistical Implicative Analysis - Studies in Computational Intelligence, Springer-Verlag, 2008, 127, pp. 11-40.
6. R. Gras, Pascale Kuntz, Nicolas Greffard. Notion of Implicative Fields in Statistical Implicative Analysis // VIII Colloque International - VIII International Conference A.S.I. Analyse Statistique Implicative - Statistical Implicative Analysis Radès (Tunisie) - Novembre 2015, pp. 29-46.

Квятковская Ирина Юрьевна

Астраханский государственный технический университет
Д.т.н, профессор, заведующая кафедрой «Высшая и прикладная математика»
E-mail: i.kvyatkovskaya@astu.org

Во Тхи Хуен Чанг

Астраханский государственный технический университет
Аспирант кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления»
E-mail: vthtrang@mail.ru

Чан Куок Тоан

Астраханский государственный технический университет
К.т.н. кафедры «Высшая и прикладная математика»
E-mail: hoaiivan219@mail.ru

УДК 519.816

М.А. СИТНИКОВ
M.A.SITNIKOV**АНАЛИЗ РЕШЕНИЙ И МЕТОДОВ В ОБЛАСТИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРЕДУПРЕЖДЕНИИ И КОНТРОЛЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНВАЗИОННЫХ ОРГАНИЗМОВ****ANALYSIS OF SOLUTIONS AND METHODS IN THE FIELD OF CONSTRUCTION OF FORECASTING AND DECISION SUPPORT SYSTEMS FOR THE PREVENTION AND CONTROL OF THE SPREAD OF INVASIVE ORGANISMS**

Контроль и предупреждение распространения инвазивных организмов является ключевой задачей агропромышленной отрасли, так как данные виды организмов оказывают прямое негативное влияние на данную отрасль. Среди методов и программных инструментов по контролю распространения инвазивных видов высокую популярность имеют программные системы прогнозирования распространения. В данной статье рассматривается современная методология построения систем прогнозирования вариантов и поддержки принятия решений при предупреждении и контроле распространения инвазивных организмов. Исследование, проведенное в данной статье, заключается в анализе существующих решений с целью выявления ключевых положительных и отрицательных сторон. Полученная в результате данного исследования информация позволит составить характеристику, на основе которой возможно проведение модернизации существующих решений, а также формирование главных критериев к проектированию и разработке новых решений в данной области.

Ключевые слова: инвазивные виды, контроль распространения инвазивных видов, система поддержки принятия решений, система прогнозирования.

The control and prevention of the spread of invasive organisms is a key task for the agro-industrial sector, since these types of organisms have a direct negative impact on this industry. Among the methods and software tools for controlling the spread of invasive species, software systems for predicting the spread are very popular. This article discusses the modern methodology for constructing systems for predicting options and supporting decision-making in the prevention and control of the distribution of invasive organisms. The study carried out in this article is to analyze existing solutions in order to identify key positive and negative aspects. The information obtained as a result of this study will make it possible to draw up a characteristic, on the basis of which it is possible to modernize existing solutions, as well as to form the main criteria for the design and development of new solutions in this area.

Keywords: invasive species, control of the spread of invasive species, decision support system, forecasting system.

Распространение инвазивных видов растений является одной из ключевых проблем в современной аграрной отрасли России. Инвазивные виды – чужеродные биологические виды, распространение которых угрожает биологическому разнообразию представленной среды обитания. [1] Критичностью данной проблемы является ущерб, наносимый экономической и биологической сферам страны. Инвазивные виды, после занесения в новое местообитания, провоцируют распространение болезней и вредителей, не характерных для карантинного региона, что может повлечь за собой вымирание исходных биологических видов. Также чужеродные виды по мере своего распространения проводят искажение экосистемы подверженного инвазии региона, что ведет за собой снижение урожайности, угнетение аборигенных видов и снижение биологического разнообразия. Все данные факторы указывают на высокую актуальность данной проблемы.

При борьбе с инвазивными видами наиболее эффективным решением выступает предупреждение и устранение карантинных инвазивных видов на ранних этапах их развития. Данное следствие обусловлена тем фактом, что устранение последствий разрушительного воздействия инвазивных видов является очень сложным и дорогостоящим процессом. Помимо своевременного

устранения чужеродных видов также существует потребность в прогнозировании их распространения для ускорения процесса реагирования на их появления и подготовки защитных мер. Оптимальным решением для данных проблем выступает применение программных систем с спроектированными аналитическими и прогностическими моделями, который будут применяться как для контроля распространения чужеродных видов, так и для прогнозирования.

Главной проблемой при проектировании и разработке подобных систем выступает недостаток исходных данных. Данная проблема связана с высокой стоимостью процесса сбора информации, включающего в себя анализ спутниковых изображений и экспедиции в природные местообитания, с последующим фиксированием и анализом данных. [2] Вследствие этого большинство существующих моделей обнаружения и предсказания распространения инвазивных видов основывают свои методики на эмпирических данных – изображениях со спутников, параметрах природно-климатических факторов и исторических данных, полученных в результате исследования того или иного вида. Полученные в результате работы данных моделей прогнозы не являются достаточно информативными, так как не учитывают множество других факторов, влияющих на распространение инвазивных видов. Примерами подобных факторов могут послужить техногенные, экономические и социальные факторы. [3]

Современные методы машинного обучения и глубокого обучения позволяют проектировать модели, учитывающие несколько различных информационных признаков, а также проводить анализ и оценивать степень влияния данных признаков для составления наиболее точных моделей. Однако при этом возникает ряд необходимых для решения проблем. Какие архитектуры моделей наилучшим образом подходят для прогнозирования распространения инвазивных видов? Как оценить степень взаимного влияния на распространение между несколькими инвазивными видами? Как объединить работу нескольких моделей прогнозирования в единую систему?

Решением данных вопросов является применение систем прогнозирования вариантов и поддержки принятия решений при предупреждении и контроле распределения инвазивных организмов.

Данные системы должны включать в себя следующие компоненты:

Система баз данных, включающая информацию об исследуемых инвазивных видах, исторических данных о распространении вида, местоположения регионов распространения и характерные признаки данных регионов, а также модуль поддержки баз данных;

Модели прогнозирования и контроля распространения инвазивных видов;

Модуль обработки результатов работы моделей;

Геоинформационная система отображения результатов прогнозирования и влияния различных факторов на распространение чужеродных видов;

Программные модули, обеспечивающие доступность результатов работы системы;

Функциями данных систем являются:

Обработка результатов работы моделей классификации и прогнозирования распространения инвазивных видов;

Прогноз вариантов изменений распределения чужеродных организмов после предполагаемых изменений и манипуляций;

Формирование карты распространения инвазивных видов с масками, оказывающих влияние, дополнительных факторов;

На данный момент можно выделить сравнительно небольшое число систем поддержки принятия решений и прогнозирования. Подавляющая часть из существующих решений является автоматизированными системами и при прогнозировании распространения инвазивных видов полагаются на применение относительно простых данных, таких как среда обитания и климатические факторы.

Одним из примеров подобных решений может послужить автоматизированная система поддержки принятия решений и прогнозирования инвазивных видов растений INHABIT. [4] Принцип ее работы заключается в реализации многомодульной системы, состоящей из набора моделей прогнозирования, обработчиков данных моделей и ГИС, отображающей результаты прогнозов моделей отобранных селективных видов растений на территории США. Положительной чертой данного решения является то, что подобная архитектура позволяет с легкостью составлять прогнозы для нескольких инвазивных видов.

Также в качестве примера можно привести систему поддержки принятия решений по выявлению инвазивных видов пресноводной рыбы, представленной в статье A decision support system for identifying potentially invasive and injurious freshwater fishes. В данной системе проектируется и применяется система

по обнаружению опасных видов пресноводных рыб. Принцип работы системы заключается в сочетании двух моделей: модели ERSS, предназначенной для прогнозирования распространения и вероятностной модели FISRAM для определения ее негативного влияния. В качестве обучающих признаков модели применяются следующие характеристики: исторические данные об опасности, распространенности и выживаемости рассматриваемого вида, климатические условия регионов распространения. Данная система не использует широкого спектра признаков, что сказывается на точности результатов ее работы. Таким образом, негативной чертой этого решения выступает отсутствие полноты данных. [5]

Помимо готовых решений существуют также разрабатываемые методологии проектирования систем поддержки принятия решений. Так учеными Йоркского университета был предложен фреймворк для проектирования систем принятия решений для инвазивных видов растений. Описание методологии было представлено в статье A Framework for Decision-Making in Cases of Invasive Species [6] Данный способ подразумевает разбиение функционала системы на три составляющие: окружающая среда, лесная экосистема и операции. Модуль «Окружающая среда» содержит информацию о факторах окружающей среды, а также информацию о изменениях среды обитания инвазивных видов до и после их интродукции. Модуль «Лесная экосистема» содержит подробное описание подверженной инвазии экосистемы: ее биоклиматические условия и особенности, включая выработанные в результате инвазии чужеродного вида. Модуль «Операции» представляет собой алгоритм действий, предназначенных для предоставления исчерпывающих данных о влиянии инвазивного вида, среди данных операций можно выделить: сбор различных алгоритмов действий при работе с инвазивным видом, прогнозирование результатов работы данных алгоритмов, оценка результатов, принятие решения. Положительной чертой методологии выступает возможность объединения результатов работы нескольких модулей в единую систему, в нашем случае для объединения функционала системы прогнозирования и модуля поддержки принятия решений. Данная методология хорошо комбинируется с архитектурным решением, представленным в INHABIT.

Помимо указанных выше систем и методологий также проводятся исследования, нацеленные на оценку эффективности применения тех или иных моделей при решении задачи прогнозирования распространения инвазивных организмов. Так учеными южнокорейского Национального Университета Чунгнам было проведено исследование по анализу эффективности работы моделей прогнозирования распространения инвазивных видов муравьев. Результаты исследования были отражены в статье Spatial Evaluation of Machine Learning-Based Species Distribution Models for Prediction of Invasive Ant Species Distribution. [7] Оценка проводилась среди следующих моделей: модель метода максимальной энтропии (MaxEnt), модель метода случайного леса (RF) и модель многослойного перцептрона (MLP). Для подготовки данных моделей для каждого из видов были составлены наборы наиболее значимых характеристик, на основе значений которых будет формироваться карта прогноза распространения. Для отображения результатов прогнозирования на карте распространения применяется утилита ArcMap, входящая в пакет ArcGis – набор инструментов для проектирования и работы с геоинформационными системами. В результате применения натренированных моделей и проведения сравнительной характеристики были получены следующие результаты: модель максимальной энтропии, за счет самых точных результатов тестовой выборки, показала себя как наиболее эффективное решение для прогнозирования на текущий момент; модель метода случайного леса показывала результаты меньшей точности, чем метода максимальной энтропии, однако, ее показатели ошибок тестовой выборки были относительно одинаковыми, что делает ее наиболее стабильным решением; модель многослойного перцептрона показала наименее точный результат, возможно, как установили исследователи, вследствие неполноты данных. Положительная черта данного исследования – итоговый сравнительный анализ, на основе которого можно без труда определить наилучший формат моделей прогнозирования.

Таким образом, проведено исследование предметной области в рамках проектирования и построения систем прогнозирования и поддержки принятия решений при предупреждении и контроле распределения инвазивных организмов.

В результате анализа можно составить следующую характеристику для обозначенных решений и методологии.

В ходе анализа были отмечены основные положительные и негативные стороны существующих решений. Главный недостаток на данный момент среди современных решений – это отсутствие полноты данных: как было указано в исследовании большая часть решений полагается лишь на исторические

и эмпирические данные, не учитывая множество других факторов. Установлена высокая актуальность проблемы полноты данных в области построения систем прогнозирования при предупреждении и контроле распределения инвазивных организмов. Помимо анализа недостатков существующих решений установлены и преимущества, среди которых отмечено применение распределенной архитектуры системы поддержки принятия решений и применение моделей машинного обучения, основывающихся на методе максимальной энтропии, для получения наиболее точных прогнозов распределения.

Название решения	Метод решения	Данные для прогнозирования
Система поддержки принятия решений и прогнозирования инвазивных видов растений INHABIT	Прогнозирование распространения инвазивных видов за счет применения набора моделей прогнозирования уникальных для каждого из инвазивных видов.	Данные для прогнозирования зависят от модели, применяемой к инвазивному виду.
Система поддержки принятия решений по выявлению инвазивных видов пресноводной рыбы	Система, включающая модель прогнозирования распространения инвазивного вида и вероятностную модель определения негативного влияния вида.	Исторические данные об опасности, распространенности и выживаемости рассматриваемого вида, климатические условия регионов распространения
Методология A Framework for Decision-Making in Cases of Invasive Species	Система из 3 модулей: модуля, работающего с данными о состоянии окружающей среды до и после инвазии определенного вида; модуля, обрабатывающего данные о экосистеме и модуля прогнозирования и оценки прогноза.	Данные о поведении инвазивного вида, климатические условия регионов распространения

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биологические инвазии в водных и наземных экосистемах / А.Ф. Алимов, Н.Г. Богущкая — М; СПб: Товарищество научных изданий КМК, 2004
2. Deep learning detects invasive plant species across complex landscapes using Worldview-2 and PlanetScope satellite imagery, *Remote Sensing in Ecology and Conservation* / Thomas A. Lake, Ryan D. Briscoe Runquist, David A. Moeller — Zoological Society of London, 2022
3. Особенности распространения инвазивных видов *ambrosia artemisiifolia* L., *iva xanthifolia* L., *xanthium albidum* (widd.) h. scholz на юго-западе среднерусской возвышенности / В.К. Тохтарь Ю.Е. Волобуева — Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 2011
4. Invasive Species Habitat Tool / Jarnevich, C.S., LaRoe, J., Engelstad, P., Hays, B., Pearse, I.S., Prevey, J.S., Sofaer, H.R., Engelstad, P., Jarnevich, C. S., Hogan, T., Sofaer, H. R., Pearse, I. S., Sieracki, J. L., Frakes, N., Sullivan, J., Young, N. E., Prevéy, J. S., Belamaric, P., & LaRoe, J., Young, N. E., Jarnevich, C. S., Sofaer, H. R., Pearse, I., Sullivan, J., Engelstad, P., & Stohlgren, T. J., 2022
5. A decision support system for identifying potentially invasive and injurious freshwater fishes / Bruce G. Marcot, Michael H. Hoff, Craig D. Martin, Susan D. Jewell and Carrie E. Givens, 2019
6. A Framework for Decision-Making in Cases of Invasive Species / Peter A. Khaitera, Marina G. Erechtkoukova, Sina Roushana — School of Information Technology, Faculty of Liberal Arts and Professional Studies, York University, 2016
7. Spatial Evaluation of Machine Learning-Based Species Distribution Models for Prediction of Invasive Ant Species Distribution / Wang-Hee Lee, Jae-Woo Song, Sun-Hee Yoon and Jae-Min Jung, 2022

Ситников Матвей Алексеевич

Белгородский государственный исследовательский университет НИУ «БелГУ»

Студент кафедры математического и программного обеспечения информационных систем

Тел: +7-905-675-39-84

E-mail: 1667844@bsu.edu.ru

СЕКЦИЯ 6
«ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА»
SECTION 6
«APPLIED MATHEMATICS»

УДК 517.95

Н.Н. АГАРКОВА, В.Б. ВАСИЛЬЕВ, И.Н. ИБАДУЛЛАЕВА, Н.В. ЭБЕРЛЕЙН
N.N. AGARKOVA, V.B. VASILYEV, I.N. IBADULLAYEVA, N.V. EBERLEIN

О КРАЕВЫХ ЗАДАЧАХ В МНОГОМЕРНЫХ КОНУСАХ

ON BOUNDARY VALUE PROBLEMS IN MULTIDIMENSIONAL CONES

В данной работе авторы обсуждают вопросы разрешимости модельного псевдодифференциального уравнения в многомерных конусах.

Ключевые слова: эллиптические псевдодифференциальные уравнения; краевая задача; система линейных интегральных уравнений

In the paper, the authors discuss a solvability problem for a model pseudodifferential equation in multidimensional cones.

Keywords: elliptic pseudo-differential equation; boundary value problem; system of linear integral equations

В работе [1] были рассмотрены эллиптические псевдодифференциальные уравнения в модельных областях с негладкой. Эти исследования были продолжены и развиты в многомерных ситуациях, и, в частности, рассмотрены случаи, когда параметры конуса стремятся к предельным значениям 0 и ∞ [2–5].

Модельный псевдодифференциальный оператор A с символом $A(\xi)$, $\xi \in \mathbb{R}^m$, определяется формулой

$$(Au)(x) = \int_{\mathbb{R}^m} e^{i(x-y)\xi} A(\xi)u(y)dyd\xi.$$

На плоскости рассматривается уравнение

$$(Au)(x) = 0 \quad x \in \mathbb{R}^2 \setminus \overline{C_+^a}, \tag{1}$$

где

$$C_+^a = \{x \in \mathbb{R}^2 : x_2 > a |x_1|, a > 0\},$$

решение ищется в пространстве $H^s(\mathbb{R}^2 \setminus \overline{C_+^a})$. Предполагается, что волновая факторизация для символа $A(\xi)$ существует) с индексом относительно угла C_+^a и выполняется условие $1/2 < \varkappa - s < 3/2$.

Далее мы добавляем интегральное условие

$$\int_{-\infty}^{+\infty} u(x_1, x_2) dx_2 \equiv g(x_1), \quad (2)$$

Показано, что задача (1), (2) однозначно разрешима при $a \rightarrow \infty$, только если функция g удовлетворяет определенному интегральному уравнению.

В трехмерном случае рассмотрено уравнение

$$(Au)(x) = 0 \quad x \in \mathbb{R}^3 \setminus \overline{C_+^{ab}}, \quad (3)$$

в пространстве Соболева–Слободецкого $H^s(\mathbb{R}^3 \setminus \overline{C_+^{ab}})$, где

$$C_+^{ab} = \{x \in \mathbb{R}^3 : x = (x_1, x_2, x_3), x_3 < a|x_1| + b|x_2|, a, b > 0\},$$

с интегральным условием

$$\int_{-\infty}^{+\infty} u(x_1, x_2, x_3) dx_3 \equiv g(x_1, x_2), \quad (4)$$

в случае $\alpha - s = 1 + \delta$, $|\delta| < 1/2$. Показано, что задача (3),(4) однозначно разрешима при $a \rightarrow \infty$ или $b \rightarrow \infty$, только если функция g удовлетворяет определенному интегральному уравнению.

Мы опишем здесь несколько многомерных ситуаций, основываясь на этих примерах. Точнее, мы покажем, какие многомерные области с разрезами могут быть получены аналогичным предельным переходом и приведем формулировки соответствующих постановок краевых задач.

Рассмотрена следующая краевая задача:

$$\begin{cases} (Au)(x) = 0, \quad x \in \mathbb{R}^5 \setminus \overline{(C_+^a \times C_+^{bd})} \\ \int_{\mathbb{R}^2} u(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) dx_2 dx_5 = g(x_1, x_3, x_4) \end{cases}$$

где $C_+^a \subset \mathbb{R}^2, C_+^{bd} \subset \mathbb{R}^3$,

и задача

$$\begin{cases} (Au)(x) = 0, \quad x \in \mathbb{R}^4 \setminus \overline{(C_+^a \times C_+^b)} \\ \int_{\mathbb{R}^2} u(x_1, x_2, x_3, x_4) dx_2 dx_4 = g(x_1, x_3) \end{cases}$$

где $C_+^a \subset \mathbb{R}^2, C_+^b \subset \mathbb{R}^2$.

Можно рассмотреть и такой вариант с двумя многогранными углами в \mathbb{R}^6 , точнее, следующую краевую задачу

$$\begin{cases} (Au)(x) = 0, & x \in \mathbb{R}^6 \setminus \overline{(C_+^{ab} \times C_+^{dl})} \\ \int_{\mathbb{R}^2} u(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6) dx_3 dx_6 = g(x_1, x_2, x_4, x_5) \end{cases}$$

где $C_+^{ab} \subset \mathbb{R}^3, C_+^{dl} \subset \mathbb{R}^3$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vasil'ev V. B. Wave Factorization of Elliptic Symbols: Theory and Applications. Introduction to the Theory of Boundary Value Problems in Non-Smooth Domains. Dordrecht–Boston–London: Kluwer Academic Publishers, 2000.
2. Vasilyev V. B. Pseudodifferential equations, wave factorization, and related problems // Math.Meth. Appl. Sci. 2018. V. 41. № 18. P. 9252–9263.
3. Vasilyev V. B. Pseudo-differential equations and conical potentials: 2-dimensional case // Opusc. Math. 2019. V. 39. № 1. P. 109–124.
4. Vasilyev V. B. On certain 3-dimensional limit boundary value problems // Lobachevskii J. Math. 2020. V. 41. № 5. P. 917–925.
5. Kutaiba Sh., Vasilyev V. On limit behavior of a solution to boundary value problem in a plane sector // Math. Meth. Appl. Sci. 2021. V. 44. № 15. P. 11904–11912.

Агаркова Наталья Николаевна

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород
Аспирант кафедры «Прикладная математика и компьютерное моделирование»
Тел.: +7-(4722) 30-13-00*42-67
E-mail: agarkova_n@bsu.edu.ru

Васильев Владимир Борисович

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород
Доктор ф.-м.н., заведующий кафедрой «Прикладная математика и компьютерное моделирование»
Тел.: +7-(4722) 30-13-00*42-67
E-mail: vasilyev_v@bsu.edu.ru

Ибадуллаева Имара Надировна

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород
Аспирант кафедры «Прикладная математика и компьютерное моделирование»
Тел.: +7-(4722) 30-13-00*42-67
E-mail: 720564@bsu.edu.ru

Эберлейн Николай Владимирович

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород
Аспирант кафедры «Прикладная математика и компьютерное моделирование»
Тел.: +7-(4722) 30-13-00*42-67
E-mail: 649377@bsu.edu.ru

УДК 517.95

 Е.Б. АФАНАСЬЕВА, В.Б. ВАСИЛЬЕВ, О.Ю. ЛУКИНОВА, А.А. МАШИНЕЦ
 E.B. AFANASYEVA, V.B. VASILIEV, O.Y. LUKINOVA, A.A. MASHINETS

О ДИСКРЕТНОЙ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧЕ ДЛЯ ПСЕВДОДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ В КВАДРАНТЕ

ON A DISCRETE ELLIPTIC BOUNDARY VALUE PROBLEM FOR PSEUDO-DIFFERENTIAL EQUATION IN A QUADRANT

В данной статье авторы исследуют разрешимость дискретной краевой задачи Дирихле в дискретных функциональных пространствах.

Ключевые слова: дискретное псевдодифференциальное уравнение, дискретная краевая задача Дирихле

In given article, the authors study a solvability problem of Dirikhle discrete boundary value problem in discrete functional spaces.

Keywords: monitoring; discrete boundary value problems; pseudodifferential equations, discrete Dirichlet problem

Для исследования разрешимости модельных эллиптических псевдодифференциальных уравнений была использована специальная факторизация эллиптического символа [1], при наличии которой удалось получить полную картину разрешимости. Исследование дискретных ситуаций было начато в работе [2] и продолжено в [3,4].

Пусть \mathbb{Z}^2 обозначает целочисленную решетку на плоскости. Обозначим $K = \{x \in \mathbb{R}^2 : x = (x_1, x_2), x_1 > 0, x_2 > 0\}$ первый квадрант, $K_d = h\mathbb{Z}^2 \cap K, h > 0$. Мы будем работать с функциями дискретной переменной $u_d(\tilde{x}), \tilde{x} = (\tilde{x}_1, \tilde{x}_2) \in h\mathbb{Z}^2$.

Обозначим $\mathbb{T}^2 = [-\pi, \pi]^2, \hbar = h^{-1}$ и $\zeta^2 = h^{-2}((e^{-i\hbar \cdot \xi_1} - 1)^2 + (e^{-i\hbar \cdot \xi_2} - 1)^2)$, $S(h\mathbb{Z}^2)$ - дискретный аналог пространства Шварца бесконечно дифференцируемых быстро убывающих на бесконечности функций.

Пространство $H^s(h\mathbb{Z}^2)$ состоит из дискретных обобщенных функций и является замыканием пространства $S(h\mathbb{Z}^2)$ в норме

$$\|u_d\|_s = \left(\int_{h\mathbb{T}^2} (1 + |\zeta^2|)^s |\tilde{u}_d(\xi)|^2 d\xi \right)^{1/2},$$

где $\tilde{u}_d(\xi)$ обозначает дискретное преобразование Фурье

$$\tilde{u}_d(\xi) = \sum_{\tilde{x} \in h\mathbb{Z}^2} e^{-i\tilde{x} \cdot \xi} u_d(\tilde{x}) h^2, \quad \xi \in h\mathbb{T}^2.$$

Пространство $H^s(K_d)$ состоит из дискретных обобщенных функций из пространства $H^s(h\mathbb{Z}^2)$, носители которых содержатся в \bar{K}_d . Норма в пространстве $H^s(K_d)$ индуцируется нормой пространства $H^s(h\mathbb{Z}^2)$.

Пусть $A_d(\xi)$ - измеримая периодическая функция, определенная на \mathbb{R}^2 с основным квадратом периодов $h\mathbb{T}^2$. Под дискретным псевдодифференциальным оператором A_d с символом $A_d(\xi)$ в дискретном квадрате K_d мы понимаем оператор следующего вида

$$(A_d u_d)(\tilde{x}) = \sum_{\tilde{y} \in h\mathbb{Z}^2} h^2 \int_{h\mathbb{T}^2} A_d(\xi) e^{i(\tilde{x}-\tilde{y}) \cdot \xi} \tilde{u}_d(\xi) d\xi, \quad \tilde{x} \in K_d,$$

Говорят, что оператор A_d - эллиптический, если

$$\text{ess inf}_{\xi \in h\mathbb{T}^2} |A_d(\xi)| > 0.$$

Здесь мы рассматриваем символы, удовлетворяющие условию

$$c_1(1 + |\zeta^2|)^{\alpha/2} \leq |A_d(\xi)| \leq c_2(1 + |\zeta^2|)^{\alpha/2}$$

с положительными постоянными c_1, c_2 , не зависящими от h , и число $\alpha \in \mathbb{R}$ мы называем порядком дискретного псевдодифференциального оператора A_d .

Нас интересует разрешимость дискретного уравнения

$$(A_d u_d)(\tilde{x}) = 0, \quad \tilde{x} \in K_d, \tag{1}$$

в пространстве $H^s(K_d)$.

Для символа $A_d(\xi)$ вводится понятие периодической волновой факторизации с индексом \varkappa , при наличии которой удается выписать общее решение уравнения (1). Мы здесь предполагаем, что $\varkappa - s = 1 + \delta, |\delta| < 1/2$.

К уравнению добавляются дискретное условие на сторонах угла

$$u_d|_{\tilde{x}_1=0} = f_d(\tilde{x}_2), \quad u_d|_{\tilde{x}_2=0} = g_d(\tilde{x}_1). \tag{2}$$

Таким образом, задача (1), (2) - это дискретная задача Дирихле.

Теперь обозначим

$$\int_{-h\pi}^{h\pi} A_{d,\neq}^{-1}(\xi) d\xi_1 \equiv \tilde{a}_0(\xi_2), \quad \int_{-h\pi}^{h\pi} A_{d,\neq}^{-1}(\xi) d\xi_2 \equiv \tilde{b}_0(\xi_1),$$

и в предположении, что выполнено условие

$$\begin{aligned} \tilde{a}_0(\xi_2), \tilde{b}_0(\xi_1) &\neq 0, \forall \xi_1 \neq 0, \xi_2 \neq 0, \\ \tilde{F}_d(\xi_2) &= \tilde{f}_d(\xi_2) \tilde{a}_0^{-1}(\xi_2), \quad \tilde{G}_d(\xi_1) = \tilde{g}_d(\xi_1) \tilde{b}_0^{-1}(\xi_1), \\ k_1(\xi) &= A_{d,\neq}^{-1}(\xi) \tilde{b}_0^{-1}(\xi_1), \quad k_2(\xi) = A_{d,\neq}^{-1}(\xi) \tilde{a}_0^{-1}(\xi_2). \end{aligned}$$

В новых обозначениях введем систему двух линейных интегральных уравнений относительно двух неизвестных функций $\tilde{c}_0(\xi_1), \tilde{d}_0(\xi_2)$

$$\begin{cases} \int_{-h\pi}^{h\pi} k_1(\xi) \tilde{c}_0(\xi_1) d\xi_1 + \tilde{d}_0(\xi_2) = \tilde{F}_d(\xi_2) \\ \tilde{c}_0(\xi_1) + \int_{-h\pi}^{h\pi} k_2(\xi) \tilde{d}_0(\xi_2) d\xi_2 = \tilde{G}_d(\xi_1), \end{cases} \tag{3}$$

Доказана эквивалентность задачи (1), (2) системе (3), доказана однозначная разрешимость системы (3) для достаточно малых h при условии однозначной разрешимости соответствующей системы в непрерывном случае, дано сравнение дискретных и непрерывных решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев В. Б. Мультипликаторы интегралов Фурье, Псевдодифференциальные уравнения, волновая факторизация, краевые задачи. М.: КомКнига, 2010.
2. Vasilyev A. V., Vasilyev V. B. Pseudo-differential operators and equations in a discrete half-space // Math. Model. Anal. 2018. V. 23. № 3. P. 492–506.
3. Васильев В. Б. Операторы и уравнения: дискретное и непрерывное // Итоги науки и техн. Сер. Современ. мат. и ее прил. Темат. обз. 2019. Т. 160. С. 18–27.
4. Васильев В. Б., Тарасова О. А. О дискретных краевых задачах и их аппроксимационных свойствах // Итоги науки и техн. Сер. Современ. мат. и ее прил. Темат. обз. 2020. Т. 174. С. 12–19.

Афанасьева Елена Борисовна

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород
Аспирант кафедры «Прикладная математика и компьютерное моделирование»
Тел.: +7-961-179-89-77
E-mail: afanaseva@bsu.edu.ru

Васильев Владимир Борисович

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород
Доктор ф.-м.н., заведующий кафедрой «Прикладная математика и компьютерное моделирование»
Тел.: +7-4722-30-13-00*42-67
E-mail: vasilyev_v@bsu.edu.ru

Лукинова Оксана Юрьевна

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород
Аспирант кафедры «Прикладная математика и компьютерное моделирование»
Тел.: +7-4722-30-13-00 * 20-20
E-mail: lukinova@bsu.edu.ru

Машинец А.А.

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород
Аспирант кафедры «Прикладная математика и компьютерное моделирование»
Тел.: +7-4722-30-13-00*42-67
E-mail: 711012@bsu.edu.ru

УДК 51-74

И.Н. БЕЛЯЕВА, И.К. КИРИЧЕНКО, Н.Н. ЧЕКАНОВА
I.N. BELYAEVA, I.K. KIRICHENKO, N.N. CHEKANOVA

КВАНТОВАНИЕ АТОМА ВОДОРОДА В ПОСТОЯННОМ ОДНОРОДНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ МЕТОДОМ НОРМАЛЬНЫХ ФОРМ БИРКГОФА-ГУСТАВСОНА

QUANTIZATION OF A HYDROGEN ATOM IN A CONSTANT HOMOGENEOUS MAGNETIC FIELD BY THE BIRKHOFF- GUSTAVSON NORMAL FORM METHOD

В работе изложена общая схема получения классической нормальной формы Биркгофа-Густавсона и ее квантового аналога, а также вычисление энергетического спектра и волновых функций для исходной гамильтоновой системы. Изложенная схема была применена для нормализации и квантования атома водорода в постоянном однородном магнитном поле.

Ключевые слова: метод нормальных форм Биркгофа-Густавсона, атом водорода, система REDUCE

The paper presents a general scheme for obtaining the classical Birkhoff-Gustavson normal form and its quantum analogue, as well as the calculation of the energy spectrum and wave functions for the original Hamiltonian system. The outlined scheme was applied to the normalization and quantization of the hydrogen atom in a constant uniform magnetic field.

Keywords: Birkhoff-Gustavson normal form method, hydrogen atom, REDUCE system

Известно, что нормальную форму можно эффективно использовать для гамильтоновых систем, если ее функция Гамильтона представлена в полиномиальном виде (см., например [1, 2]).

Пусть классическая система с n степенями свободы описывается функцией Гамильтона, которая может быть представлена в следующем виде

$$H(q, p) = H^{(2)}(q, p) + \sum_{s \geq 3} H^{(s)}(q, p) \quad (1)$$

$$H^{(2)}(q, p) = \sum_{\nu=1}^n \frac{\omega_{\nu}}{2} (q_{\nu}^2 + p_{\nu}^2), \quad H^{(s)}(q, p) = \sum_{|i|+|j|=s} a_{ij} q^i p^j \quad (2)$$

p, q – n -мерные канонически сопряженные координаты и импульсы,
 $q^i \equiv q_1^{i_1} \cdot q_2^{i_2} \cdot q_3^{i_3} \cdot \dots \cdot q_n^{i_n}$, $i = i_1 + i_2 + \dots + i_n$, ω_{ν} – частоты.

Метод нормализации состоит в выполнении последовательности канонических преобразований $p, q \rightarrow \xi, \eta$ таких, что в новых переменных $H(p, q) \rightarrow G(\xi, \eta)$ функция $G(\xi, \eta)$ имела бы более простой вид. В частности, формально это означает, что выполняется условие

$$DG(\xi, \eta), \quad (3)$$

$$D \equiv \sum_{\nu=1}^n \omega_{\nu} \left(\xi_{\nu} \frac{\partial}{\partial \eta_{\nu}} - \eta_{\nu} \frac{\partial}{\partial \xi_{\nu}} \right) \quad (4)$$

Есть оператор нормальной формы, который можно записать через скобку Пуассона как

$$D(*) = -\{H^{(2)}, (0)\}. \quad (5)$$

Необходимая для таких канонических преобразований производящая функция может быть выбрана в виде [3]

$$F(q, \eta) = q \cdot \eta + W^{(s)}(q, \eta) \quad (6)$$

где $W^{(s)}(q, \eta)$ представляет собой однородный полином степени s по n -мерным переменным q, η .

Взаимосвязь между старыми и новыми каноническими переменными определяется уравнениями:

$$\xi_v = q_v + \frac{\partial W^{(s)}(q, \eta)}{\partial \eta_v}, \quad p_v = \eta_v + \frac{\partial W^{(s)}(q, \eta)}{\partial q_v} \quad (7)$$

$$H\left(q, \eta + \frac{\partial W^{(s)}}{\partial q}\right) = G\left(q + \frac{\partial W^{(s)}}{\partial \eta}, \eta\right) \quad (8)$$

Разлагая гамильтонианы $H(q, p)$, $G(\xi, \eta)$ в ряд Тейлора вблизи точек η и q и приравняв члены с одинаковыми степенями, получаем основное уравнение

$$DW^{(s)}(q, \eta) = G^{(s)}(q, \eta) - H^{(s)}(q, \eta), \quad (9)$$

из которого следует найти две величины $W^{(s)}(q, \eta)$ и $G^{(s)}(q, \eta)$ при известной величине $H^{(s)}(q, \eta)$. Можно сразу же заметить, что нормальная форма для $G^{(2)}(q, \eta)$ равна

$$G^{(2)}(q, \eta) = \sum_{v=1}^n \omega_v (q_v^2 + \eta_v^2) / 2. \text{ Поэтому решение основного уравнения (5) надо находить для}$$

$$s = 3, 4, \dots, s_{\max}.$$

Для решения основного уравнения (7) временно переходим к промежуточным каноническим переменным x, y :

$$q_v = \frac{1}{\sqrt{2}}(x_v + iy_v), \quad \eta_v = \frac{i}{\sqrt{2}}(x_v - iy_v) \quad (10)$$

В этих переменных основное уравнение (7) запишем в виде

$$\tilde{D}(x, y)\tilde{W}^{(s)}(q, \eta) = \tilde{G}^{(s)}(q, \eta) - \tilde{H}^{(s)}(q, \eta). \quad (11)$$

при этом оператор нормальной формы (3) будет равен

$$\tilde{D}(x, y) = i \sum \omega_v \left(x_v \frac{\partial}{\partial x_v} - y_v \frac{\partial}{\partial y_v} \right). \quad (12)$$

Линейный оператор \tilde{D} определен в функциональном пространстве всех однородных полиномов степени s от $2n$ переменных x, y . Размерность этого пространства определяется формулой

$$M = \frac{(2n + s - 1)!}{(2n - 1)!s!}. \quad (13)$$

Мономы вида $\Phi^{(s)} = x^l y^m$, $s = |l| + |m|$ образуют в нем базис. Эти мономы являются собственными функциями оператора нормальной формы \tilde{D} :

$$\tilde{D}\Phi^{(s)} = i \sum_{v=1}^n \omega_v (m_v - l_v) \Phi^{(s)}. \quad (14)$$

Тогда решение основного уравнения (7) можно записать в виде

$$\begin{aligned} \tilde{D}W^{(s)} &= \tilde{D}^{-1}[\tilde{G}^{(s)} - \tilde{H}^{(s)}]\Phi^{(s)} \\ \tilde{D}^{-1} &= \frac{\Phi^{(s)}}{i \sum_{v=1}^n \omega_v (m_v - l_v)}. \end{aligned} \quad (15)$$

Так как известный моном $\tilde{H}^{(s)}(x, y)$ может быть представлен в виде суммы двух мономов $\tilde{H}^{(s)} = \tilde{N}^{(s)} + \tilde{R}^{(s)}$, где $\tilde{D} \tilde{N}^{(s)} = 0$, то из основного уравнения получаем нормальную форму $\tilde{G}^{(s)} = \tilde{N}^{(s)}(x, y)$ и алгебраическое уравнение для производящего монома $W^{(s)}(x, y)$ при условии, что $\sum_{\nu=1}^n \omega_{\nu} (m_{\nu} - l_{\nu}) \neq 0$. Совершая обратные преобразования от переменных x, y к переменным ξ, η , находим нормальную форму и производящую функцию. Биркгоф [4] изучал нормальную форму для несоизмеримых частот (случай $m_{\nu} - l_{\nu} \neq 0$ [1], а Густавсон [3] распространил этот метод нормализации на случай соизмеримых частот [2]. Поэтому так полученная нормальная форма в литературе часто называется нормальной формой Биркгофа-Густавсона [5].

Однако выполнение процедуры по изложенной выше схеме требует крайне трудоемких вычислений. К примеру, количество однородных полиномов $\Phi^{(s)} = x^l y^m$, $s = |l| + |m|$ при $s = s_{\max} = 10$ для систем с двумя степенями свободы равно $M = 286$, а для трех степеней свободы это число равно $M = 3003$. Поэтому желательно процедуру нормализации выполнять с помощью современных вычислительных машин. Первые такие компьютерные вычисления были проведены Густавсоном, который составил программу на FORTRAN, и вычислил нормальную форму вместе с приближенным интегралом движения для гамильтоновой системы Хенона-Хейлеса [6]. Многими авторами были разработаны различные варианты получения нормальной формы. В настоящей работе процедура нормализации гамильтоновых систем выполнялась при помощи программы [7], составленной в известной системе символьных вычислений REDUCE.

Для полученной классической нормальной формы $\hat{G}_{s_{\max}}$ можно получить её квантовый аналог в виде оператора \hat{G} следующим образом. Вместо переменных ξ_{ν}, η_{ν} вводим новые комплексные переменные:

$$z_{\nu} = \frac{1}{\sqrt{2}}(\eta_{\nu} + i\xi_{\nu}), \quad \bar{z}_{\nu} = \frac{1}{\sqrt{2}}(\eta_{\nu} - i\xi_{\nu}), \quad \nu = 1, 2. \quad (16)$$

И получаем классическую нормальную форму $\hat{G}(z_{\nu}, \bar{z}_{\nu})$. Затем применяем правило соответствия Вейля [8]:

$$z_{\nu}^m \cdot \bar{z}_{\nu}^n \rightarrow \frac{1}{2^m} \cdot \sum_{l=0}^m \frac{m!}{l!(m-l)!} \hat{a}_{\nu}^{+l} \cdot \hat{a}_{\nu}^n \cdot \hat{a}_{\nu}^{+m-l} \quad (17a)$$

где

$$\hat{a}_{\nu}^{+} = \frac{1}{i\sqrt{2}} \cdot \left(\frac{\partial}{\partial \xi_{\nu}} - \xi_{\nu} \right), \quad \hat{a}_{\nu} = \frac{1}{i\sqrt{2}} \cdot \left(\frac{\partial}{\partial \xi_{\nu}} + \xi_{\nu} \right) \quad (17b)$$

В результате получаем квантовый аналог нормальной формы в виде оператора \hat{G} , который будет выражен через операторы $\hat{A}_1 \equiv \hat{\xi}_1 \cdot \hat{\eta}_1$ и $\hat{A}_2 \equiv \hat{\xi}_2 \cdot \hat{\eta}_2$. Тогда энергетический спектр E и соответствующие волновые функции исходного гамильтониана определяются из следующей задачи на собственные значения

$$\hat{G}|\lambda\rangle = \lambda E|\lambda\rangle \quad (18)$$

При этом можно показать, что следующие векторы

$$\hat{G}|N, L\rangle = \left\{ \left(\frac{N-L}{2} \right)! \left(\frac{N+L}{2} \right)! \right\}^{-\frac{1}{2}} \hat{\eta}_2^{+(N-L)/2} \hat{\eta}_1^{+(N-L)/2} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \hat{\eta}_1|0, 0\rangle = \hat{\eta}_2|0, 0\rangle = 0 \\ N = 0, 1, 2, 3, \dots; \quad L = \pm N, \pm(N-2), \dots \end{aligned} \quad (20)$$

Являются собственными векторами для операторов \hat{A}_1 и \hat{A}_2 , а, следовательно, и для всего квантового аналога нормальной формы. Тогда равенство $\lambda E = E$ представляет формулу для определения спектра уравнения Шредингера для исходной функции Гамильтона.

Функция Гамильтона двумерного атома водорода в постоянном магнитном поле, вектор индукции \vec{B} которого перпендикулярен плоскости в атомных единицах, имеет вид

$$H(q, p) = \frac{1}{2}(p^2 + q^2) - \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2}} + \frac{\gamma}{2}(x \cdot p - y \cdot q) + \frac{\gamma^2}{8}(x^2 + y^2) \quad (21)$$

$\gamma = B / 2.35 \cdot 10^5 \text{ Тл}$ – единица измерения магнитного поля.

Чтобы применить, описанный выше алгоритм нахождения спектра этой системы при квантовом рассмотрении, необходимо предварительно выполним канонические преобразования Леви-Чивита:

$$\begin{aligned} x = \frac{q_1^2 - q_2^2}{2 \cdot \sqrt{-2E}}, \quad y = \frac{q_1^2 \cdot q_2^2}{\sqrt{-2E}}, \\ p_x = q_1 p_1 - q_2 p_2 \sqrt{-2E} / (q_1^2 + q_2^2), \\ p_y = q_2 p_1 - q_1 p_2 \sqrt{-2E} / (q_1^2 + q_2^2), \quad \frac{dt}{d\tau} = \frac{r}{\sqrt{-2E}}, \quad r = \sqrt{x^2 + y^2} \end{aligned} \quad (22)$$

и получим следующую функцию Гамильтона

$$H(q_1, p_1, q_2, p_2) = \frac{1}{2}(q_1^2 + p_1^2 + q_2^2 + p_2^2) + \frac{\beta}{8}(q_1 \cdot p_1 - q_2 \cdot p_2) + q_1^2 + q_2^2 + \frac{\beta^2}{128}(q_1^2 + q_2^2)^2 \quad (23)$$

$$H(q_1, p_1, q_2, p_2) = \sqrt{\frac{2}{-E}}, \quad \beta = \frac{\gamma}{-E}, \quad E < 0 \text{ – полная энергия.}$$

Выполняя нормализацию до $s_{\max} = 10$ и последующее квантование полученной нормальной формы, находим энергетический спектр в следующей неявной форме

$$\sqrt{-\frac{2}{E_{nl}}} = \lambda(E_{nl})$$

$$\lambda(E_{nl}) = 2n + 1 - \beta / 4l (2n + 1) + 5\beta^2 / 128 - 4l^2 n - 2l^2 + 4n^3 + 6n^2 + 4n + 1, \quad (24)$$

где $\lambda(E_{nl})$ – собственные значения квантовой нормальной формы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Robnik M. The algebraic quantization of the Birkhoff-Gustavson normal form // Journal of Phys.A: Mathematical and General. – 1982. – V.77. – No.10. – P.5204-5217.

2. Чеканова Н.Н., Кириченко И.К., Чеканов Н.А. Сравнительный анализ результатов квантования классической двумерной гамильтоновой системы по правилам Вейля-Маккоя и Борна-Йордана // Научные ведомости БелГУ, сер.: Математика и Физика. – 2015. – №11 (208), Вып. 39/173. – С.173-190.
3. Gustavson F.G. On constructing formal integrals of Hamiltonian systems // Astron. J. – 1966. – V.71. – P.670-686.
4. Биркгоф Дж. Динамические системы. – Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2002. – 406с.
5. Delos J.B., Swimm R.T. Semiclassical Calculations of vibration l energy levels for nonseparable systems using Birkhoff-Gustavson normal form // J. Chem. Phys. – 1979. – V.71. – P.1706.
6. Henon M., Heiles C. The applicability of the third Integral of Motion: Some numerical Experiments // The Astronomical Journal. – 1964. – V 69. – P.73.
7. Basios V., Chekanov N.A., Markovski B.L., Rostovtsev V.A., Vinitsky S.I. GITA: a REDUCE program for the normalization of polynomial Hamiltonians// Comp. Phys. Commun. – 1995. – V. 90. – P. 355-368.
8. Вейль Г. Теория групп и квантовая механика. – М.: Наука, 1986.–496с.

Беляева Ирина Николаевна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
К.ф.-м.н., доцент кафедры информатики, естественнонаучных дисциплин и методик преподавания
Тел.: (4722) 30-13-00*28-16
E-mail: ibelyaeva@bsu.edu.ru

Кириченко Игорь Константинович

Харьковский Национальный автомобильно-дорожный университет, Украина, г. Харьков
Д.ф.-м.н., профессор кафедры физико-математических дисциплин
E-mail: ikir238@gmail.com

Чеканова Наталья Николаевна

Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Украина, г. Харьков
К.ф.-м.н., доцент кафедры информационных технологий
Тел.: +380633066068
E-mail: natchek1976@gmail.com

УДК 517.983.23

 В.Б. ВАСИЛЬЕВ, О.А. ТАРАСОВА
 V.B. VASILYEV, O.A. TARASOVA

ДИСКРЕТНЫЕ РЕШЕНИЯ ПСЕВДОДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

DISCRETE SOLUTIONS PSEUDO-DIFFERENTIAL EQUATIONS

Рассматривается дискретный аналог простейшей краевой задачи для эллиптического псевдодифференциального уравнения в полупространстве с граничным условием Дирихле в пространствах Соболева-Слободецкого. На основе теории дискретных краевых задач для эллиптических псевдодифференциальных уравнений приведено сравнение дискретных и непрерывных решений для одной модельной краевой задачи.

Ключевые слова: псевдодифференциальный оператор, дискретное решение, дискретная краевая задача, скорость аппроксимации.

We consider discrete analogue for simplest boundary value problem for elliptic pseudo-differential equation in a half-space with Dirichlet boundary condition in Sobolev-Slobodetskii spaces. Based on the theory of discrete boundary value problems for elliptic pseudo-differential equations we give a comparison between discrete and continuous solutions for certain model boundary value problem.

Keywords: Digital pseudo-differential operator, Discrete solution, Discrete boundary value problem, Rate of approximation.

Пусть Z^m – целочисленная решетка в R^m , $h > 0$, A_d – дискретный псевдодифференциальный оператор с символом $A_d(\xi)$, определенный на функциях дискретного аргумента $u_d(\tilde{x})$, $\tilde{x} \in hZ^m$ [1].

Исследуется дискретное уравнение

$$A_d u_d = v_d \quad (1)$$

его разрешимость и аппроксимационные свойства для малых значений h .

Обозначим $\zeta^2 = h^{-2} \sum_{k=1}^m (e^{-ih \cdot \xi_k} - 1)^2$, $S(hZ^m)$ – дискретным аналогом пространство Шварца $S(hR^m)$ [1].

Определение 1. Пространство $H^s(hZ^m)$ является замыканием пространства $S(hZ^m)$ по норме

$$\|u_d\|_s = \left(\int_{hT^m} (1 + |\zeta^2|)^s |\tilde{u}_d(\xi)|^2 d\xi \right)^{1/2},$$

где $h = h^{-1}$, $T = [-\pi; \pi]$.

Далее, пусть $D \subset R^m$ – область, и $D_d \equiv D \cap hZ^m$ – дискретная область.

Определение 2. Пространство $H^s(D_d)$ состоит из функций дискретного аргумента из $H^s(hZ^m)$, носитель которых содержится в $\overline{D_d}$. Норма в пространстве $H^s(D_d)$ индуцируется нормой пространства $H^s(hZ^m)$. Пространство $H_0^s(D_d)$ состоит из функций дискретного аргумента u_d и эти функции должны допускать продолжение во все $H^s(hZ^m)$. Норма $H_0^s(D_d)$ задается формулой

$$\|u_d\|_s^+ = \inf \|lu_d\|_s,$$

где \inf берется по всем продолжениям l .

Будем рассматривать класс символов E_α , который включает в себя символы, удовлетворяющие следующему условию

$$c_1(1 + |\xi^2|)^{\alpha/2} \leq |A_d(\xi)| \leq c_2(1 + |\xi^2|)^{\alpha/2}$$

с положительными константами c_1, c_2 не зависящими от h и символа $A_d(\xi)$.

Обозначим $\Pi_{\pm} = \{z \in C: z = \xi_m + i\tau, \xi_m \in [-\pi; \pi], \pm\tau > 0\}$

Определение 3. Периодической факторизацией эллиптического символа $A_d(\xi) \in E_\alpha$ называется его представление в виде

$$A_d(\xi) = A_{d,+}(\xi)A_{d,-}(\xi),$$

где сомножители $A_{d,\pm}(\xi)$ допускают аналитическое продолжение в полуполосы $h\Pi_{\pm}$ по последней переменной ξ_m для почти всех фиксированных $\xi' \in hT^{m-1}$ и удовлетворяют оценкам

$$|A_{d,+}^{\pm 1}(\xi)| \leq c_1(1 + |\hat{\xi}^2|)^{\pm \frac{\alpha}{2}}, \quad |A_{d,-}^{\pm 1}(\xi)| \leq c_2(1 + |\hat{\xi}^2|)^{\pm \frac{\alpha - \alpha}{2}},$$

с константами c_1, c_2 , не зависящими от h ,

$$\hat{\xi}^2 \equiv h^2 \left(\sum_{k=1}^{m-1} (e^{-ih\xi_k} - 1)^2 + (e^{-ih(\xi_m + i\tau)} - 1)^2 \right), \quad \xi_m + i\tau \in h\Pi_{\pm}.$$

Число $\alpha \in R$ называется индексом периодической факторизации.

Такое представление полностью определяет картину разрешимости уравнения (1).

Во-первых, для эллиптического символа $A_d(\xi)$ такая периодическая факторизация существует всегда (см. [2, 3]).

Во-вторых, индекс периодической факторизации определяет, сколько дополнительных условий требуется для решения u_d или для правой части v_d [1, 4].

В-третьих, уравнение (1) однозначно разрешимо в дискретном полупространстве $H^s(D_d)$ для произвольной правой части $v_d \in H_0^{s-\alpha}(D_d)$ при условии

$$|\alpha - s| < 1/2 \quad (2)$$

Рассмотрим более сложный случай, когда условие (2) не выполняется. В этой ситуации есть две возможности, и мы рассмотрим один случай, который приводит к типичным краевым задачам. Мы используем результат из [1] в простейшей форме.

Теорема 1. Пусть $\alpha - s = n + \delta$, $n \in N$, $|\delta| < 1/2$. Тогда образ Фурье для ядра оператора A_d состоит из следующих функций

$$\tilde{u}_d(\xi) = \tilde{A}_{d,+}^{-1}(\xi) \sum_{k=0}^{n-1} \tilde{c}_k(\xi') \hat{\xi}_m^k,$$

где $\tilde{c}_k(\xi')$, $k = 0, 1, \dots, n-1$, произвольные функции из $H^{s_k}(hT^{m-1})$, $s_k = s - \alpha + k - 1/2$.

Справедлива априорная оценка

$$\|u_d\|_s \leq a \sum_{k=0}^{n-1} [c_k]_{s_k},$$

где $[\cdot]_{s_k}$ обозначает норму в пространстве $H^{s_k}(hT^{m-1})$ и постоянная a не зависит от h .

Здесь и ниже мы рассмотрим псевдодифференциальные операторы с символами $A(\xi)$ удовлетворяющие условию

$$c_1(1 + |\xi|)^{\alpha} \leq |A(\xi)| \leq c_2(1 + |\xi|)^{\alpha}.$$

Далее, символ $A_d(\xi)$ будет определен следующим образом. Мы берем сужение $A(\xi)$ на куб hT^m и периодически продолжаем его на все R^m . Мы рассматриваем такой оператор как аппроксимирующий оператор для A . Для произвольной функции u обозначение $Q_h u$ будет обозначать такую же конструкцию. Так, например, чтобы найти приближенное дискретное решение уравнения

$$(Au)(x) = v(x), \quad x \in D,$$

для $D = R^m$ будем использовать следующее дискретное решение

$$u_d(\tilde{x}) = \frac{1}{(2\pi)^m} \int_{hT^m} e^{i\tilde{x} \cdot \xi} A^{-1}(\xi) \tilde{v}(\xi) d\xi, \quad \tilde{x} \in hZ^m,$$

так что нам не нужно искать приближенное решение для конечной системы линейных алгебраических уравнений. Для нашего случая нам нужно применить любые кубатурные формулы для вычисления последнего интеграла и кубатурную формулу для вычисления преобразования Фурье $\tilde{v}(\xi)$. Для $v \in S(R^m)$ дискретное решение $u_d(\tilde{x})$ стремится к $u(\tilde{x})$ очень быстро при $h \rightarrow 0$ [5].

Рассмотрим случай $\alpha - s = 1 + \delta$, $|\delta| < 1/2$. Согласно теореме 1 ядро оператора A_d содержит только одну произвольную функцию, так что нам нужно одно дополнительное условие.

Непрерывный аналог дискретной краевой задачи ($\tilde{x} = (\tilde{x}, \tilde{x}_m)$)

$$(A_d u_d)(\tilde{x}) = 0, \quad \tilde{x} \in D_d, \quad (3)$$

$$u_d(\tilde{x}, 0) = g_d(\hat{x}), \quad \tilde{x} \in hZ^{m-1} \quad (4)$$

выглядит следующим образом ($x = (\hat{x}, x_m)$)

$$(Au)(x) = 0, \quad x \in R_+^m \quad (5)$$

$$u(\dot{x}, 0) = g(\dot{x}), \quad \dot{x} \in R^{m-1} \quad (6)$$

где A псевдодифференциальный оператор с символом $A(\xi)$ [2]. Чтобы получить сравнение между дискретными и непрерывными решениями, напомним, как выглядит непрерывное решение. Если индекс факторизации равен α и $\alpha - s = 1 + \delta$, $|\delta| < 1/2$, то единственное решение задачи (5), (6) строится по формуле

$$\tilde{u}(\xi) = b^{-1}(\xi') \tilde{g}(\xi') A_+^{-1}(\xi', \xi_m)$$

где $A_{\pm}(\xi', \xi_m)$ являются элементами факторизации символа $A(\xi)$ [2],

$$b(\xi') = \int_{-\infty}^{+\infty} A_+^{-1}(\xi', \xi_m) d\xi_m,$$

предполагаем, что $b(\xi') \neq 0, \forall \xi' \in R^{m-1}$. Отметим, что это простейший вариант условия Шапиро-Лопатинского [2].

Имеем следующее дискретное решение [3]

$$\tilde{u}_d(\xi) = b_d^{-1}(\xi') \tilde{g}_d(\xi') A_{d,+}^{-1}(\xi', \xi_m),$$

$$b_d(\xi') = \int_{-\hbar\pi}^{+\hbar\pi} A_{d,+}^{-1}(\xi', \xi_m) d\xi_m,$$

для которого мы выбираем специальные приближения. Берем $g_d = Q_h g$ и $A_{d,\pm}(\xi', \xi_m)$ мы выбираем как сужения $A_{\pm}(\xi', \xi_m)$ на $\hbar T^m$. Периодический символ

$$A_d(\xi) = A_{d,+}(\xi', \xi_m) A_{d,-}(\xi', \xi_m),$$

удовлетворяет всем условиям периодической факторизации с тем же индексом α . Более того $\tilde{g}_d(\xi')$ и $A_{d,+}(\xi', \xi_m)$ совпадает с $\tilde{g}(\xi')$ и $A_+(\xi', \xi_m)$ соответственно на $\hbar T^m$.

Теорема 2. Пусть $\alpha > 1, s > m/2, g \in H^{s-\frac{1}{2}}(R^{m-1})$. Сравнение решений задач (3), (4) и (5), (6) дается следующим образом

$$|u(\tilde{x}) - u_d(\tilde{x})| \leq Ch^{\alpha-1}, \quad \tilde{x} \in \hbar Z^m.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vasilyev, A.V., Vasilyev, V.B. - Pseudo-differential operators and equations in a discrete half-space. - Math. Model. Anal. 23(3), 492–506, 2018.
2. Эскин Г.И. Краевые задачи для эллиптических псевдодифференциальных уравнений. М.: Наука, 1973.
3. Vasilyev, A.V., Vasilyev, V.B. - On some discrete boundary value problems in canonical domains. - In: Pinelas, S., Caraballo, R., Kloeden, P., Graef, J. R. (eds.) Differential and Difference Equations and Applications. ICDDEA, Amadora, Portugal, June 2017. Springer Proc. Math. & Stat. V. 230, pp.569–579, Springer, Cham, 2018.
4. Vasilyev, A.V., Vasilyev, V.B. - On some discrete potential like operators. - Tatra Mt. Math. Publ. 71, 195–212, 2018.
5. Vasilyev, V.B. - Digital approximations for pseudo-differential equations and error estimates. In: Nikolov, G., Kolkovska, N., Georgiev, K. (eds.) Numerical Methods and Applications. NMA 2018. LNCS, vol 11189, pp. 483–490. Springer, Cham, 2019.

Васильев Владимир Борисович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород.
 Доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры прикладной математики и компьютерного моделирования.
 E-mail: vasilyev_v@bsu.edu.ru

Тарасова Оксана Александровна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород.
 Старший преподаватель кафедры прикладной математики и компьютерного моделирования.
 E-mail: tarasova_o@bsu.edu.ru

УДК 531.01:517.9

Ю.П. ВИРЧЕНКО, В.А. ЧЕНЦОВА
Yu.P. VIRCHENKO, V.A. CHENTSOVA

ЭТАЛОННОЕ РЕШЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ С КВАДРАТИЧНЫМ МАССОВЫМ ЧЛЕНОМ

TEMPLATE SOLUTION OF NONLINEAR HEAT EQUATION WITH QUADRATIC MASS TERM

Изучается эталонное решение нелинейного уравнения теплопроводности с квадратичным массовым членом, который приводит к наличию обострения эволюционного режима. Это решение может представлять аппроксимацию общего решения этого уравнения с начальными данными, локализованными на компактном носителе.

Ключевые слова: аппроксимация, время обострения, компактный носитель, нелинейная теплопроводность, обострение режима, фундаментальная длина.

A template solution of a nonlinear heat equation with a quadratic mass term is studied, which leads to the presence of the blow up of the evolution regime. This solution may represent an approximation of the general solution of this equation when initial data are localized on a compact support.

Keywords: approximation, blow up time, compact support, nonlinear thermal conductivity, blow up regime, fundamental length.

Рассмотрим нелинейное одномерное уравнение теплопроводности

$$\dot{u} = (uu_x)_x,$$

которое описывает распространение тепла в среде с существенно зависящим от температуры u коэффициентом теплопроводности. Добавим самосогласованный источник тепла, квадратично зависящий от температуры,

$$\dot{u} = (uu_x)_x + u^2. \quad (1)$$

Известно, что решения этого уравнения обладают т.н. *обострением режима*. Это его свойство используется для описания развития всякого рода катастрофических явлений в среде. В частности, оно примечательно одним из авторов к описанию т.н. *теплого пробоя* тонких полупроводниковых пленок [1], [2]. Представляет интерес построение аппроксимаций решений уравнения (1) в случае, когда начальные данные $u(x, 0)$ локализованы на достаточно малом компактном носителе, воспользовавшись тем, что изучаемые решения нужно будет строить, используя факт обострения режима, на ограниченном интервале времени. При этом важно строить аппроксимации, давая для них гарантированные оценки точности, используя при этом принцип максимума для параболического уравнения (1). При получении такого рода гарантированных оценок точности важно иметь точные явные решения, которые мы называем *эталонными*. В сообщении исследуется одно из возможных эталонных решений.

Рассмотрим функцию

$$u(x, t) = a(t) + b(t) \cos kx, \quad (2)$$

с произвольным волновым вектором k и подберем его таким образом, чтобы (2) представляло эталонное решение. Простые вычисления

$$u^2(x, t) = a^2(t) + b^2(t) \cos^2 kx + 2ab \cos kx, \\ (U^2(x, t))_{xx} = 2k^2 [b^2(t) (\sin^2 kx - \cos^2 kx) - ab \cos kx]$$

дают нам следующее условие

$$\dot{a} + \dot{b} \cos kx = a^2 + b^2 [(1 - k^2) \cos^2 kx + k^2 \sin^2 kx] + ab(2 - k^2) \cos kx.$$

Откуда видно, что в случае $1 - k^2 = k^2$, $k = \sqrt{2}/2$, допустим гармонический баланс. Это приводит к следующей автономной системе обыкновенных дифференциальных уравнений на плоскости коэффициентов (a, b)

$$\dot{a} = a^2 + \frac{1}{2}b^2, \quad \dot{b} = \frac{3}{2}ab. \quad (3)$$

Нас будет интересовать случай, когда $b > |a| > 0$.

Заметим, что в случае $a_0 > 0$ имеют место неравенства

$$\dot{a} \geq a^2, \quad a_0^{-1} - a^{-1} > t, \quad a(t) > \frac{a_0}{1-a_0 t}$$

$$\frac{\dot{b}}{b} = \frac{3}{2}a > \frac{3}{2} \frac{a_0}{1-a_0 t}, \quad b > b_0(1 - a_0 t)^{-3/2}.$$

Это показывает, что решения, наверняка, обладают обострением режима. Покажем, что такое положение имеет при любом знаке a_0 и попытаемся определить более точно время обострения.

Используя автономность системы (3), делением, сводим ее к дифференциальному уравнению для траекторий на плоскости (a, b)

$$\frac{da}{db} = \frac{1}{3} \frac{2a^2 + b^2}{ab}. \quad (4)$$

Это уравнение, очевидным образом является однородным, и поэтому допускает определение первого интеграла. Полагая $a = bf(b)$, $1 > |f| > 0$, находим

$$f + bf' = \frac{2f^2 + 1}{3f}, \quad \frac{ff'}{1-f^2} = \frac{1}{3b},$$

$$C^2 b^{\frac{2}{3}}(1-f^2) = b^{\frac{2}{3}}(1-(a/b)^2), \quad a^2 = b^2 - C^2 b^{\frac{4}{3}}.$$

В результате,

$$\dot{b} = \frac{3}{2} b^{5/3} (b^{2/3} - C^2)^{1/2}.$$

Интегрируя это уравнение разделением переменных, получаем при

$$t = 0, \quad b(0) = b_0$$

$$\frac{2}{5C} \arctg \left(\frac{b^{\frac{2}{3}}}{C} - C \right) = \frac{1}{2}t + \frac{2}{5C} \arctg \left(\frac{b_0^{\frac{2}{3}}}{C} - C \right), \quad b(t) = t g^{3/2} \left[\frac{5C}{4} (t + t_*) \right],$$

где $t_* = (4/5C) \arctg \left[(b_0^{2/3} - C^2)/C \right]$. Зависимость от времени амплитуды $a(t)$ определяется интегрированием выражения

$$\dot{a} = b^{\frac{4}{3}} (3 b^{\frac{2}{3}}/2 - C^2).$$

Отсюда видно, что коэффициенты $a(t)$ и $b(t)$ стремятся к бесконечности одновременно, и поэтому обладают одним и тем же временем обострения. Тогда время обострения t^* вычисляется явно из условия обращения $b(t^*)$ в бесконечность.

$$t g \left[\frac{5C}{4} t^* + \arctg (b_0^{2/3} - C) \right] = \infty,$$

$$\frac{5C}{4} (t^* + t_*) = \frac{\pi}{2}, \quad t_* = \frac{2\pi}{5C} - t_*.$$

При этом само эталонное решение $u(x, t)$ сосредоточено на периоде $L = 2\pi/k = 2\pi\sqrt{2}$, который можно назвать фундаментальной длиной этого решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Virchenko Yu.P., Vodyanitskii A.A. Semiconductors materials heat breakdown under action of the penetrating electromagnetic radiation. II. One-dimensional model analysis // Functional Materials. – 1996. – 3;3. – P.312-319.
2. Andreyeva N.V., Virchenko Yu.P. Stabilization of the thermal breakdown development in semiconductor films // Problems of Atomic Science and Technology. Series Nuclear Physics Investigations. – 2004. – 5. – P.126-128.

Вирченко Юрий Петрович

Белгородский государственный университет, г.Белгород
 д.ф.-м. н., профессор кафедры «Теоретическая и математическая физика»
 E-mail: virch@bsu.edu.ru

Ченцова Виктория Викторовна

Белгородский государственный университет, г. Белгород
 аспирант кафедры «Теоретическая и математическая физика»

УДК 51-7 + 636.082

Ю.П. ВИРЧЕНКО, Д.А. ЧЕРКАШИН
YU.P. VIRCHENKO, D.A. CHERKASHIN**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДЕКСА ПЛЕМЕННОЙ ЦЕННОСТИ
ЖИВОТНОГО НА ОСНОВЕ БАЙЕСОВСКОГО ОЦЕНИВАНИЯ****DETERMINATION OF THE BREEDING VALUE INDEX OF AN ANIMAL
BASED ON BAYESIAN ESTIMATION**

Предлагается схема вычисления индекса племенной ценности животного в рамках математической модели отбора наиболее перспективной самки при процедуре селекции породы. Эта схема основана на решении задачи байесовского оценивания.

Ключевые слова: дискретная случайная величина, индекс племенной ценности, математическое ожидание, наиболее вероятное значение, формула полной вероятности.

A scheme for calculating the breeding value index of an animal is proposed within the framework of a mathematical model for selecting the most promising female during the breed selection procedure. This scheme is based on solving the Bayesian estimation problem.

Keywords: discrete random variable, breeding value index, mathematical expectation, most probable value, full probability formula.

Рассматривается задача вычисления индекса племенной ценности по многоплодию самки животного при проведении селекции породы. Будем рассматривать число рождающихся потомков от фиксированной самки как случайную величину n , которая может принимать натуральные значения $n \in \mathbb{N}_+$. Обозначим ее распределение вероятностей посредством $q_n = \Pr\{n = n\}$ и соответствующее математическое ожидание

$$\bar{n} = \mathbb{E}n = \sum_{n=0}^{\infty} nq_n.$$

Функциональный вид этого распределения определяется каким-либо образом на основе базовых принципов вероятностного моделирования. Значения параметров распределения q_n определяются на основе статистических оценок, связанных с массивом, получаемым посредством предшествующих наблюдений.

Кроме параметра \bar{n} , характеризующего распределение q_n , важным параметром является наиболее вероятное значение n_* случайной величины n . При этом предполагается, что распределение вероятностей q_n является унимодальным. В этом случае значение n_* определяется как решение уравнения

$$q_{n_*} = \max_{n \in \mathbb{N}_+} q_n.$$

Определение индекса племенной ценности h самки по многоплодию зависит, вообще говоря, от принятой методики обработки статистических данных по многоплодию. Определим индекс h отношением

$$h = n_* / \bar{n}.$$

Введем в рассмотрение стохастическую матрицу P с матричными элементами $(P)_{kl} = p_{kl}$. По своему смыслу матричные элементы p_{kl} являются условными вероятностями того, что в заданных «внешних» условиях свиноматка может произвести потомство из l поросят, при условии

того, что по своему внутреннему состоянию она способна произвести потомство из k поросят (обладавая значением h индекса племенной ценности). В матрице P сосредоточена информация об условиях содержания животного и о племенной ценности самца.

После появления потомства с численностью l возникает ситуация, когда необходимо переопределить распределение вероятностей q_n и заменить его на распределение $q_n^{(l)}$. В частности, при этом переоценивается значение племенной ценности h . Оно заменяется на h' , которое определяется равенством

$$h' = n_*' / \bar{n}' ,$$

где

$$\bar{n}' = E n' = \sum_{n=0}^{\infty} n q_n^{(l)}$$

– математическое ожидание новой случайной величины n' с наиболее вероятностным значением n_*' , определяемым уравнением

$$q_{n_*'}^{(l)} = \max_n q_n^{(l)} .$$

Решение такой задачи дается в рамках схемы оценивания Байеса. В этом случае новое распределение вероятностей определяется формулой

$$q_n^{(l)} = \frac{P_{ln} q_n}{\sum_m P_{lm} q_m} . \quad (1)$$

Новая случайная величина n' с распределением вероятностей $q_n^{(l)}$ имеет математическое ожидание

$$\bar{n}' = \frac{\sum_n n P_{ln} q_n}{\sum_m P_{lm} q_m} .$$

Заметим, что наиболее вероятное значение n_* оценивается по индексу h посредством $n_* = \bar{h}n$. Это дает возможность варьировать функциональный вид распределения q_n .

Покажем, что описанный подход к переоценке индекса племенной ценности обладает определенной разумностью. Пусть на появление потомства никак не влияют «внешние» условия. В этом случае положим матрицу P единичной. Следовательно,

$$\sum_{m=0}^{\infty} P_{lm} q_{lm} = q_l$$

и $P_{nl} q_n = \delta_{ln} q_n$. Следовательно, $q_n^{(l)} \neq 0$ только при $n = l$. Это ненулевое значение, согласно (1), равно 1. При этом $n_*' = l$ и

$$\bar{n}' = \frac{\sum_n n \delta_{ln} q_n}{\sum_m \delta_{ln} q_n} = l .$$

В таком случае, индекс племенной ценности $h' = 1$.

Проанализируем простейший случай распределения q_n . Пусть $q_n = A n q^{n-1}$ с $0 < q < 1$.

Так как

$$\sum_n q_n = 1 ,$$

то

$$\sum_n q_n = A \frac{d}{dq} \sum_{n=0} q^n = A \frac{d}{dq} (1-q)^{-1} = (1-q)^{-2},$$

$A = (1-q)^2$. Вычислим n_* . Для этого определим значение n , при котором достигается максимума nq^n . Рассмотрим функцию $x \exp(-\lambda x)$, $\lambda = -\ln q$. Максимум этой функции достигается в точке

$$\frac{d}{dx} (x \exp(-\lambda x)) = (1 - \lambda x) \exp(-\lambda x) = 0,$$

$x = \lambda^{-1} = |\ln q|^{-1}$. Таким образом, $n_* = |\ln q|^{-1}$.

Определим \bar{n} ,

$$\begin{aligned} (1-q)^2 \sum_{n=0} n^2 q^{n-1} &= (1-q)^2 \sum_{n=0} n(n-1) q^{n-1} + (1-q)^2 \sum_{n=0} n q^{n-1} = \\ &= 1 + Aq \frac{d^2}{dq^2} \sum_{n=0} q^n = 1 + Aq \frac{d^2}{dq^2} (1-q)^{-1} = 1 + 2Aq(1-q)^{-3} = 1 + 2q(1-q)^{-1} = \frac{1+q}{1-q}. \end{aligned} \quad (2)$$

Следовательно, индекс племенной ценности равен

$$h = \frac{1+q}{(1-q)|\ln q|}.$$

Статистическая оценка параметра q находится на основе принципа наибольшего правдоподобия. Положим, что имеется генеральная совокупность $\{n_m; m = 1 \div N\}$. Тогда, согласно методу наибольшего правдоподобия, нужно найти такое значение параметра q , при котором реализуется

$$\max \left\{ 2N \ln(1-q) + \sum_{n=1}^N (\ln n_m + (n_m - 1) \ln q) \right\}.$$

Для экстремальной точки получается уравнение

$$-\frac{2N}{1-q} + \frac{1}{q} \sum_{n=1}^N (n_m - 1) = 0.$$

Его решение дает следующую статистическую оценку

$$q = \frac{\sum_{m=1}^N n_m - N}{\sum_{m=1}^N n_m + N}.$$

Если известны среднее значение \bar{n} и \bar{h}_m племенной ценности особей в стаде, то

$$q = \frac{\bar{n} \sum_{m=1}^N h_m - N}{\bar{n} \sum_{m=1}^N h_m + N}.$$

В случае, если эти индексы примерно совпадают так, что стадо особей можно охарактеризовать, с большой точностью, одним индексом h , то

$$q = \frac{\bar{n}h - 1}{\bar{n}h + 1}.$$

Это согласуется с формулой (2) для математического ожидания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Henderson C.R. Accounting for Selection and Mating Biases in Genetic Evaluation / C.R. Henderson // In Gianola D.; Hammond K. (eds.). Advances in Statistical Methods for Genetic Improvement of Livestock: Springer-Verlag Inc., 1990. – P. 413-436.

2. Кузнецов В.М. Генетическая оценка молочного скота методом BLUP. / В.М. Кузнецов // Зоотехния. – 1995. – №11. – С.8-15.
3. Allaire F.R., Henderson C.R. Inbreeding Within an Artificially Bred Dairy Cattle Population / F.R. Allaire // Journal of Dairy Science. – 1965. — 48(10). – P.1366-1371.

Вирченко Юрий Петрович

Белгородский государственный университет, г.Белгород
д.ф.-м. н., профессор кафедры «Теоретическая и математическая физика»
E-mail: virch@bsu.edu.ru

Черкашин Дмитрий Андреевич

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г.Белгород
аспирант кафедры «Высшей математики»
E-mail: dmt.cherkashin@gmail.com

УДК 621.3.015.5

Ю. П. ВИРЧЕНКО, МЭХЭРИ ТЕВОЛДЕ АМАНУЭЛЬ
Yu. P. VIRCHENKO, MENARI TEWOLDE AMANUEL

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ДЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРОБОЯ МНОГОСЛОЙНОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ПЛЕНКИ

PROBABILITY DISTRIBUTION FOR ELECTRIC BREAKDOWN VOLTAGES OF MULTILAYER POLYMER FILM

Анализируется математическая модель многослойной полимерной пленки, содержащая случайным образом распределенные в ней воздушные включения. Вычисляется функция распределения напряжения электрического пробоя.

Ключевые слова: воздушные включения; независимые случайные величины; одновершинное распределение; полимерная пленка; электрическая прочность.

A mathematical model of a multilayer polymer film containing randomly distributed air inclusions is analyzed. The electrical breakdown voltage distribution function is calculated.

Keywords: air inclusions, independent random variables, unimodal distribution, polymer film, electrical strength.

1. Введение. Сообщение посвящено анализу математической модели [1] для вычисления критического напряжения электрического пробоя тонкой многослойной полимерной пленки. С геометрической точки зрения модель представляет собой последовательность наложенных друг на друга слоев полимера с фиксированной величиной электрической прочности. В каждом из слоев может присутствовать случайным образом расположенный в нем дефект в виде воздушного пузырька полусферической формы со случайным радиусом. Наличие таких пузырьков обуславливает случайность величины напряжения \tilde{E} электрического пробоя. Случайный характер этих напряжений несуществен, если толщина пленки намного превосходит геометрические размеры дефектов. Если же указанное соотношение между этими величинами не столь велико, можно наблюдать статистический разброс напряжений электропробоя. При этом проявляется нетривиальная зависимость значений напряжений электропробоя от физических параметров: толщины каждого слоя и числа слоев.

2. Статистическая модель. Пусть N — число слоев пленки с толщиной d . Центры полусферических дефектов, расположенные на внешних плоскостях каждого очередного слоя, представляются статистически независимыми и однороднораспределенными пуассоновскими точечными полями с одинаковой плотностью. С каждой точкой поля связана положительная случайная величина $\tilde{r}_m > 0$, $m = 1 \div N$ — радиус дефекта. Все случайные величины \tilde{r}_m , $m = 1 \div N$ независимы в совокупности и одинаково распределены с общей плотностью распределения $u(\cdot)$.

Пусть U — электрическая прочность полимерного материала и U_0 — электрическая прочность воздуха. При $r \ll d$ плотность распределения $f(E)$ напряжения электрического пробоя E дается формулой

$$f(E) = \frac{d}{dE} \Pr\{\tilde{E} < E\} = v^{-1} q_N(s) /_{s=(E_0-E)/v}, \quad (1)$$

где $E_0 = UNd$ — напряжение электрического пробоя чистого полимерного материала и $v = U - U_0 > 0$, $q_N(s) = dQ_N(s)/ds$ и $Q_N(s) = \Pr\{\tilde{l} < s\}$ функция распределения суммы $\tilde{l} = \tilde{r}_1 + \dots + \tilde{r}_k$ случайного числа \tilde{k} независимых, одинаково распределенных с плотностью $u(r)$ случайных величин \tilde{r}_j , $j = 1 \div N$. Таким образом,

$$Q_N(s) = \Pr\{\tilde{l} < s\} = (1-p)^N \theta(s) + \sum_{k=1}^N \binom{N}{k} p^k (1-p)^{N-k} \Pr\{\tilde{l} < s\} \quad (2)$$

так, что распределение вероятностей напряжения электрического пробоя полностью определяется распределением вероятностей типичной случайной величины \tilde{r} . Согласно [2] распределение вероятностей случайной величины \tilde{l} дается формулой

$$Pr\{\tilde{l} \leq s\} = \int_0^s \underbrace{(u * \dots * u)}_k(r) dr \quad (3)$$

где символом $*$ обозначена операция свертки плотностей распределений вероятностей. В результате, плотность $q_N(s)$ имеет вид

$$q_N(s) = Pr\{\tilde{l} < s\} = (1-p)^N \delta(s) + \sum_{k=1}^N \binom{N}{k} p^k (1-p)^{N-k} \underbrace{(u * \dots * u)}_k(s) \quad (4)$$

3. Анализ статистической модели. Мы принимаем, что $u(r) = \lambda \exp(-\lambda r)$, $\lambda > 0$, что обусловлено тем, что типичные размеры дефектов очень малы по сравнению с d . В этом случае, когда значения параметра p не очень малы, плотность $q_N(s)$ имеет одну вершину при $s \neq 0$.

Для выбранной плотности $u(r)$, при $s > 0$ имеем

$$q_N(s) = \exp(-\lambda s) R_N(s), \quad R_N(s) = \sum_{k=1}^N \frac{s^{k-1}}{(k-1)!} \binom{N}{k} (p\lambda)^k (1-p)^{N-k} \quad (5)$$

Тогда

$$\begin{aligned} q'_N(s) &= \exp(-\lambda s) \left[R'_N(s) - \lambda R_N(s) \right], & R'_N(s) &= \sum_{k=2}^N \frac{s^{k-2}}{(k-2)!} \binom{N}{k} (p\lambda)^k (1-p)^{N-k}, \\ R'_N(s) - \lambda R_N(s) &= -\frac{\lambda}{N!} (p\lambda)^N + \\ &+ \lambda \sum_{k=0}^{N-2} \frac{s^k}{k!} \frac{(p\lambda)^{k+1} (1-p)^{N-k-2}}{(k+2)} \binom{N}{k+1} [(N-k-1)p - (1-p)(k+2)]. \end{aligned} \quad (6)$$

Анализ одновершинности распределения вероятностей $f(E)$ основан на следующем алгебраическом факте.

Теорема. Пусть полином $P_N(s)$ степени имеет вид $P_N(s) = s^n P_{1,N-n}(s) - P_{2,n}(s)$, где $\deg P_{1,N-n}(s) = N-n$ и $\deg P_{2,n}(s) = n$, все коэффициенты которых неотрицательны. Тогда этот полином имеет один корень при $s > 0$.

Так как уравнение $q'_N(s) = 0$ для экстремальных точек сводится к уравнению $\lambda R_N(s) - R'_N(s) = 0$, то если для всех $k = 0, 1, \dots, N-2$ выполняется неравенство $(N-k-1)p - (1-p)(k+2) < 0$, все коэффициенты при степенях s отрицательны. Тогда плотность $q_N(s)$ убывает, согласно утверждению теоремы, и поэтому она одновершинна с вершиной в $s = 0$. Если же параметры p и N таковы, что реализуется обратное неравенство при $k = 0 \div N-2$, то возможно появление еще одной вершины.

Неравенство эквивалентно $(N+1)p < k+2$, т.е. оно имеет место при $p < 2/(N+1)$ для всех k . Тогда при $p > 2/(N+1)$ существуют такое k_* , что $k \leq k_*$ коэффициенты полинома $[R_N(s) - \lambda R'_N(s)]$ отрицательны, а при $k > k_*$ коэффициенты положительны. Наоборот, при $p < 2/(N+1)$ все коэффициенты отрицательны. Применяя утверждение теоремы, заключаем, что при $p < 2/(N+1)$ плотность $q_N(s)$ одновершинна, а при $p > 2/(N+1)$ у нее появляется еще одна дополнительная вершина.

4. Заключение. Анализ модели позволил выявить причину экспериментально наблюдаемого нарушения одновершинности плотности $f(E)$ распределения напряжений электрического пробоя электроизолирующих эмаль-лаковых покрытий [3]. В условиях малости среднего размера дефекта по сравнению с толщиной d слоя и достаточно большой плотности дефектов, нарушение одновершинности происходит вследствие того, что сечения одного слоя пленки может находиться не более одного дефекта. При этом одна из вершин плотности $f(E)$ обязательно совпадает с напряжением пробоя E_0 бездефектного полимерного материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Virchenko Yu. P., Novoseltsev A.D. Probability distributions unimodality of finite sample extremes of independent Erlang random variables // Journal of Physics: Conf. Series. – 2020. – 1479. – 012104.
2. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятностей / М.: Наука, 1969.

3. Braginskii R.P., Gnedenko B.V., Zaitseva G.M., Molchanov S.A. Theoretical and statistical investigation of the defect set in enamel-laquer electrically insulting coatings // Soviet Math. Dokl.– 1989.– 38.– №3.– P.501-505.

Вирченко Юрий Петрович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г.Белгород
д.ф.-м. н., профессор кафедры «Теоретическая и математическая физика»
E-mail: virch@bsu.edu.ru

Мэхэри Теволде Амануэль

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г.Белгород
аспирант кафедры «Теоретическая и математическая физика»
E-mail: amanuelmt1@gmail.com

УДК 532.546

 Г.В. ВОРОНИНА, Ю.С. ФЕДЯЕВ
 G.V. VORONINA, YU.S. FEDYAEV

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЁХМЕРНОЙ ЭВОЛЮЦИИ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА «РАЗНОЦВЕТНЫХ» ЖИДКОСТЕЙ В КУСОЧНО-ОДНОРОДНОЙ ПОРИСТОЙ СРЕДЕ

MATHEMATICAL MODELING OF THE THREE-DIMENSIONAL EVOLUTION OF THE INTERFACE OF «MULTICOLORED» LIQUIDS IN A PIECEWISE HOMOGENEOUS POROUS MEDIUM

В статье представлена задача об эволюции границы раздела «разноцветных» жидкостей в кусочно-однородной пористой среде к точечному стоку. Граница раздела сред представляет собой сферу. Первоначальное положение границы раздела жидкостей совпадает с границей раздела сред. Найден потенциал фильтрационного течения. Исследована зависимость времени загрязнения стока от параметров задачи.

Ключевые слова: математическое моделирование, эволюция границы раздела жидкостей, кусочно-однородная пористая среда.

The article presents the problem evolution of the interface of «multicolored» liquids in a piecewise homogeneous porous medium to a point drain. The interface of the media is a sphere. The initial position of the interface of liquids coincides with the interface of media. The filtration flow potential is found. The dependence of the runoff pollution time on the parameters of the problem is investigated.

Keywords: mathematical modeling, numerical simulation, motion interface between liquids, piecewise homogeneous porous medium.

1. Постановка задачи

Исследуем пространственную фильтрацию жидкости в кусочно-однородном грунте. Выберем декартову систему координат $Oxyz$. Границу сопряжения слоёв грунта σ будем моделировать сферой радиуса a . Внутри сферы находится грунт проницаемости k_2 (область D_2), а вне сферы находится грунт проницаемости k_1 (область D_1). Свяжем центр декартовой системы координат с центром границы σ (рисунок 1).

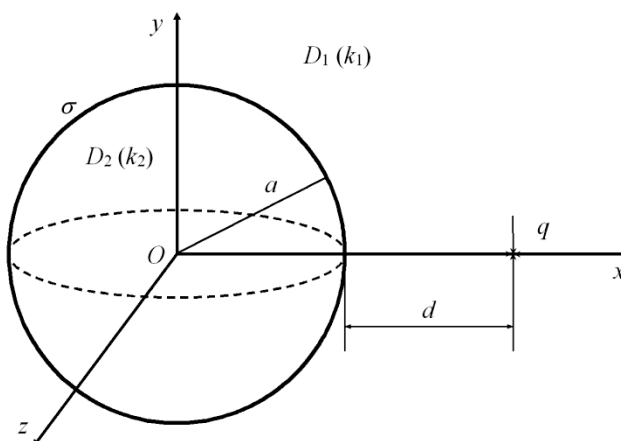


Рисунок 1 – Область фильтрации

Поверхность сопряжения задают уравнения:

$$\begin{aligned} x_M &= a \sin \theta \cos \varphi, & y_M &= a \sin \theta \sin \varphi, \\ z_M &= a \cos \theta, & \varphi &\in [0, 2\pi), \quad \theta \in [0, \pi], \quad M \in \sigma. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь φ, θ – параметры (долгота и широта сферической системы координат).

Полагаем, что течение жидкости создаёт эксплуатационная скважина. Работу скважины будем моделировать точечным стоком мощности q , расположенным в точке с координатами (x_0, y_0, z_0) . Тогда для потенциала невозмущённого поля скоростей получим

$$\varphi_0(x, y, z) = \frac{q}{4\pi} \frac{1}{\sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + (z-z_0)^2}} \quad (2)$$

Полагаем, что скважина находится на расстоянии d от границы σ в области D_1 . Ось Ox проведём через точку расположения скважины. Тогда для координат стока получим: $x_0 = a + d$, $y_0 = 0$, $z_0 = 0$.

2. Аналитическое решение

В рассматриваемом случае наличие границы σ можно учесть аналитически. Для этого воспользуемся фильтрационной теоремой о сфере [1]. Потенциал поля скоростей имеет вид:

$$k_1\varphi_1(x, y, z) = \varphi_0(x, y, z) + \frac{\lambda a}{r} \left[\varphi_0 \left(\frac{a^2 x}{r^2}, \frac{a^2 y}{r^2}, \frac{a^2 z}{r^2} \right) + (1 + \lambda) \Phi \left(\frac{a^2 x}{r^2}, \frac{a^2 y}{r^2}, \frac{a^2 z}{r^2} \right) \right], \quad (x, y, z) \in D_1, \quad (3)$$

$$k_2\varphi_2(x, y, z) = (1 - \lambda) \left[\varphi_0(x, y, z) + \lambda \Phi(x, y, z) \right], \quad (x, y, z) \in D_2,$$

где $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$, $\Phi(x, y, z) = -\frac{1}{2} \int_0^1 \tau^{\frac{\lambda-1}{2}} \varphi_0(x\tau, y\tau, z\tau) d\tau$.

Здесь параметр $\lambda = (k_1 - k_2)/(k_1 + k_2)$, $\lambda \in (-1; 1)$ характеризует различие проницаемостей в областях D_1 и D_2 . В предельном случае $\lambda = -1$ ($k_1 = 1$, $k_2 \rightarrow \infty$) для потенциала течения в области D_1 по формуле (3) получим:

$$k_1\varphi_1(x, y, z) = \varphi_0(x, y, z) - \frac{a}{r} \varphi_0 \left(\frac{a^2 x}{r^2}, \frac{a^2 y}{r^2}, \frac{a^2 z}{r^2} \right), \quad (x, y, z) \in D_1. \quad (4)$$

Для поля скоростей имеем:

$$\begin{aligned} v_{vx}(x, y, z) &= k_v \frac{\partial \varphi_v(x, y, z)}{\partial x}, \quad v_{vy}(x, y, z) = k_v \frac{\partial \varphi_v(x, y, z)}{\partial y}, \\ v_{vz}(x, y, z) &= k_v \frac{\partial \varphi_v(x, y, z)}{\partial z}, \quad (x, y, z) \in D_v, \quad v = 1, 2. \end{aligned} \quad (5)$$

Область фильтрации и картина течения симметричны относительно оси Ox , поэтому ось Ox является линией тока.

Полагаем, что начальное положение границы раздела «разноцветных» жидкостей Γ_0 совпадает с поверхностью σ (см. рисунок 1). Очевидно, что первой скважины достигнет ближайшая к ней точка границы Γ_0 . Эта точка находится на оси Ox и имеет координаты $(a; 0; 0)$. Учитывая, что эта ось является линией тока для времени достижения границей Γ_t эксплуатационной скважины (времени загрязнения скважины) получим

$$T = \int_a^{a+d} \frac{dx}{v_{1x}(x, 0, 0)}. \quad (6)$$

Интеграл (6) при $\lambda = 0$ (однородный грунт) легко вычисляется аналитически и для времени T имеем

$$T_0 = \frac{4\pi d^3}{3q}. \quad (7)$$

Формула (7) даёт время достижения скважины в однородном грунте ближайшей точкой произвольной границы Γ_0 , находящейся на расстоянии d от неё. В случае кусочно-однородной среды интеграл (6) вычисляется численно. Зависимость времени T от параметра λ представлена на рисунке 2. Здесь в качестве характерного времени выбиралось время загрязнения при $\lambda = 0$, которое вычисляется по формуле (7). То есть при численных расчётах полагали $q = 4\pi d^3/3$.

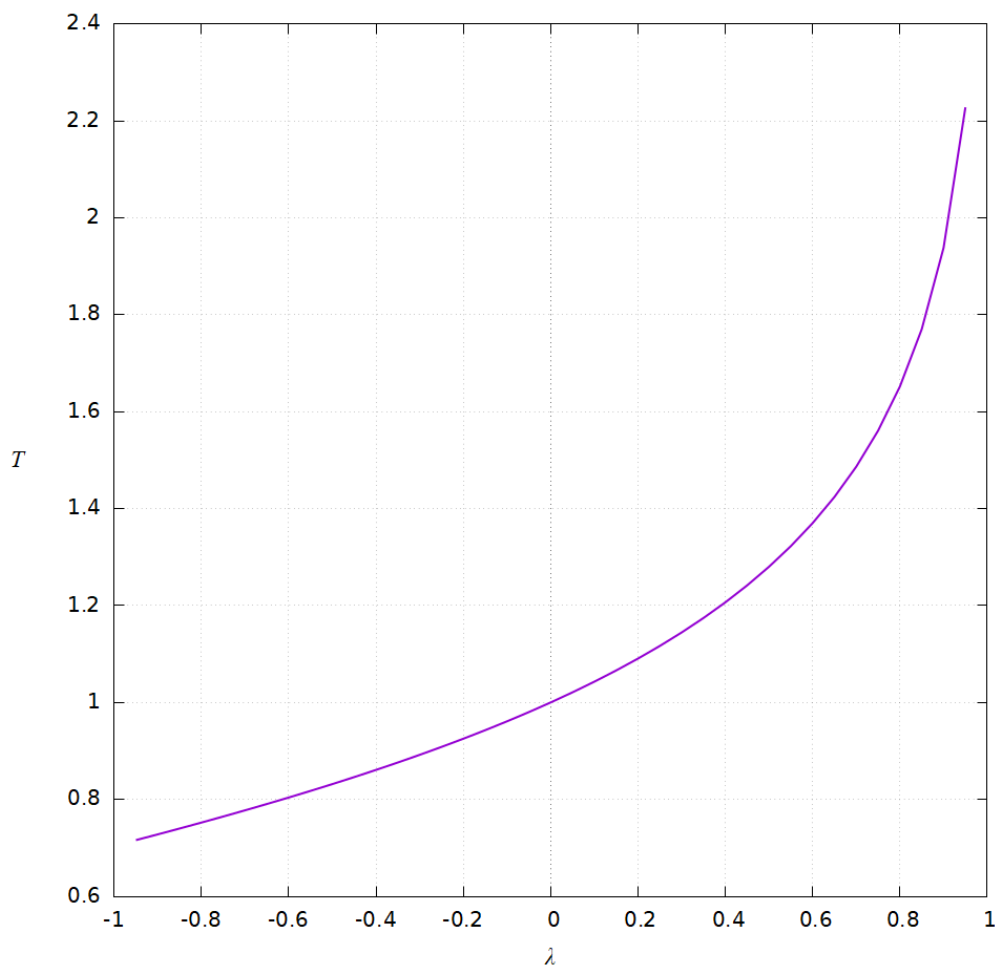


Рисунок 2 – Зависимость времени достижения точечного стока от параметра λ

Видим, что с увеличением параметра λ время T увеличивается. Аналогичное поведение наблюдается и в двумерном случае [2]. Минимальное время загрязнения получается при $\lambda = -1$ (в области D_2 – свободная жидкость) и оно равно 0,630. При $\lambda \rightarrow 1$ ($k_1 = 1$, $k_2 \rightarrow 0$, область D_2 непроницаема) время $T \rightarrow \infty$. Когда проницаемость в области D_2 в три раза больше проницаемости в области D_1 ($\lambda = -0,5$), то время загрязнения равно 0,832, то есть уменьшается на 16,8% по сравнению со временем загрязнения в однородном грунте. В случае, когда проницаемость в области D_2 в три раза меньше проницаемости в D_1 ($\lambda = 0,5$), то время загрязнения равно 1,28, то есть увеличивается на 28% по сравнению со временем загрязнения в однородном грунте.

Для нахождения положения границы раздела «разноцветных» жидкостей в кусочно-однородной среде в [3] предложена численная схема. Конкретные задачи эволюции границы к точечному стоку в однородном, неоднородном и анизотропном грунте исследованы в работах [4-6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пивень В.Ф. Теория и приложения математических моделей фильтрационных течений жидкости. – Орёл: Издательство ГОУ ВПО «ОГУ», Полиграфическая фирма «Картуш», 2006. – 508 с.
2. Воронина Г.В., Федяев Ю.С. Математическое моделирование эволюции границы раздела «разноцветных» жидкостей в кусочно-однородном грунте // Современные проблемы физико-математических наук/ материалы VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (4 – 5 декабря 2020 г., г. Орел). – Орел: ОГУ имени И. С. Тургенева, 2020. – С. 173-176.
3. Воронина Г.В., Федяев Ю.С. Численная схема решения задачи о движении границы раздела «разноцветных» жидкостей в кусочно-однородном слое пористой среды // Естественные и гуманитарные науки в современном мире (13 – 15 мая 2021 г., г. Орёл). – Орёл: ОГУ имени И. С. Тургенева, 2021. – С.202-206.
4. Крыштопин Д.В., Федяев Ю.С. Математическое моделирование трёхмерной эволюции границы раздела «разноцветных» жидкостей в анизотропной однородной пористой среде // Ученые записки Орловского государственного университета, 2014. № 6 (62). Серия: Естественные, технические и медицинские науки. – С. 17-21.
5. Крыштопин Д.В., Федяев Ю.С. Исследование эволюции трехмерной границы раздела «разноцветных» жидкостей к точечному стоку в однородном ортотропном грунте, ограниченном непроницаемой плоскостью // Избранные труды физико-математического факультета Орловского государственного университета / под общ. ред. Т.Н. Можаровой. – Орел: Картуш, 2015. – С. 67-73.
6. Крыштопин Д.В., Федяев Ю.С. Исследование эволюции трёхмерной границы раздела «разноцветных» жидкостей к скважине в неоднородной ортотропной пористой среде // Ученые записки Орловского государственного университета, 2015. № 4 (67). Серия: Естественные, технические и медицинские науки. – С. 32-36.

Воронина Галина Валерьевна

Орловский государственный аграрный университет
имени Н.В. Парахина Многопрофильный колледж, г. Орёл
преподаватель
Тел.: +7 903 882-01-57
E-mail: voroninagaly@yandex.ru

Федяев Юрий Сергеевич

Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, г. Орёл
к.ф.-м.н., доцент кафедры информатики
Тел.: +7 919 201-53-54
E-mail: fedyaevys@gmail.com

УДК 537.311.6

В.В. ВЯЗЬМИН, Т.Б. НИКУЛИЧЕВА
V.V. VYAZMIN, T.B. NIKULICHEVA

ИМПЕДАНСНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ КОМПОЗИТНЫХ ОБРАЗЦОВ НА ОСНОВЕ ЦИТРОГИПСА

IMPEDANCE SPECTROSCOPY OF COMPOSITE SAMPLES BASED ON CITROGYPSUM

В данной статье авторы освещают проблему исследования проводимости композитных образцов на основе цитрогипса, являющегося отходом производства лимонной кислоты, методом импедансной спектроскопии. Для измерения электропроводности использовали измеритель РЛК АМ-3026 АКТАКОМ в диапазоне частот 200 Гц – 5 МГц с амплитудой переменного сигнала 1 В без постоянной поляризации. Зависимость импеданса от относительной влажности композитных образцов проводилась при постоянной температуре 28 °С и относительной влажности в диапазоне от 30 до 90 %. На основании наблюдения годографов импеданса при высокой влажности предложена эквивалентная схема ячейки из твердого электролита с блокирующими электродами без учета сопротивления границ зерен.

Ключевые слова: цитрогипс, импедансная спектроскопия, годограф

In this article, the authors highlight the problem of studying the conductivity of composite samples based on citrogypsum, which is a waste from the production of citric acid, using the method of impedance spectroscopy. To measure the electrical conductivity, an RLC AM-3026 AKTAKOM meter was used in the frequency range of 200 Hz - 5 MHz with an alternating signal amplitude of 1 V without constant polarization. The dependence of the impedance on the relative humidity of composite samples was carried out at a constant temperature of 28 °C and relative humidity in the range from 30 to 90%. Based on the observation of impedance hodographs at high humidity, an equivalent circuit of a solid electrolyte cell with blocking electrodes is proposed without considering the resistance of grain boundaries.

Keywords: citrogypsum, impedance spectroscopy, hodograph

Введение

Датчики влажности находят все более широкое применение в промышленной обработке и контроле окружающей среды. В автомобильной промышленности датчики влажности используются в обогревателях заднего стекла и сборочных линиях двигателей [1]. В медицинской отрасли датчики влажности используются в стерилизаторах, инкубаторах, фармацевтической промышленности [2]. В сельском хозяйстве датчики влажности используются для кондиционирования воздуха в теплицах, защиты насаждений (предотвращения выпадения росы), контроля влажности почвы и хранения зерновых [3]. Датчики влажности используются для контроля влажности при химической очистке газов, в сушилках, печах, при сушке пленок, производстве бумаги и текстиля, в пищевой промышленности [4].

Наиболее распространенные датчики влажности изготавливаются из обычных чувствительных материалов, таких как оксид алюминия, керамика и электролитические оксиды металлов [5]. Особое значение имеет использование в качестве материалов для датчиков влажности распространенных природных материалов и материалов, накопленных в виде промышленных отходов. Датчик влажности должен удовлетворять таким характеристикам, как чувствительность в широком диапазоне, линейный отклик, малый гистерезис, короткое время отклика и восстановления, а также долговременная физическая и химическая стабильность. Поэтому использование в качестве материала для датчика влажности отходов и побочных продуктов промышленного производства требует их дополнительной очистки или модификации свойств. Одним из таких материалов, пригодных для изготовления датчиков влажности при модификации его физических свойств, является цитрогипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) – отход производства пищевой лимонной кислоты [6]. Данная работа посвящена анализу влияния влажности на электрические свойства композита на основе $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ методом импедансной спектроскопии.

Материалы и методы

В качестве материала для изготовления датчика влажности был использован цитрогипс, являющийся отходом биохимического производства лимонной кислоты, легированный сульфатом меди ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). Цитрогипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) дегидратировали в течение одного часа при температуре 200°C , затем безводный гипс (CaSO_4) выдерживали на атмосферном воздухе в течение 24 часов, в результате был получен полуводный гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$). Стехиометрические навески ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) и ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) были подготовлены на аналитических весах ЛВ 210-А с точностью 0,0001 г. Для увеличения ионной проводимости в получаемом датчике влажности, сульфат меди растворяли в воде, полученным раствором затворяли цитрогипс, который в результате взаимодействия с водой восстанавливался до дигидрата сульфата кальция. Полученную влажную массу прессовали под давлением 22 МПа. После сушки на воздухе при комнатной температуре в течение 2 ч образцы из композитного материала $(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})_{0,975} - (\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})_{0,025}$ вырезали в виде параллелепипеда с площадью контактной поверхности $9,2 \times 7,2 \text{ мм}^2$ и толщиной 1,1 мм. Энергодисперсионный рентгеновский спектр (EDX) шлифа и морфологию поверхности образца получали на сканирующем электронном микроскопе Quanta 600 FEG. Электрические контакты получали напылением серебра на контактную поверхность ВЧ-магнетронным напылением на установке ВН-2000. Использование ВЧ-магнетронного напыления позволило избежать перегрева образца. Зонды для изучения электрофизических свойств подсоединяли серебряносодержащим клеем. Проводимость образцов исследовали методом импедансной спектроскопии. Для измерения электропроводности использовали измеритель РЛК АМ-3026 АКТАКОМ в диапазоне частот 200 Гц – 5 МГц с амплитудой переменного сигнала 1 В без постоянной поляризации. Измерения проводились при постоянной температуре 28°C и диапазоне относительной влажности от 30 до 90 %. Контроль влажности и температуры проводился с помощью датчика AOSONG DHT11.

Результаты и обсуждение

Метод экспериментальных исследований заключается в измерении в переменном электрическом поле частотных зависимостей активной R и реактивной X составляющих комплексного импеданса $Z = R + jX$, где j – мнимая единица. Образцы $(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})_{0,975} - (\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})_{0,025}$ демонстрируют контролируемую чувствительность полного комплексного импеданса Z к влажности в широком рабочем диапазоне (от 30 до 90 %). Модификация цитрогипса медным купоросом изменила свойства полученного композита и повысила его чувствительность к влажности воздуха.

Можно предположить, что в наших образцах $(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})_{0,975} - (\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})_{0,025}$ может наблюдаться миграционная поляризация, характерная для неоднородных диэлектриков, содержащих примеси. В таких диэлектриках свободные электроны и примесные ионы движутся внутри некоторого структурного включения, которое уподобляется огромной поляризованной молекуле. Такая поляризация наблюдается в постоянном электрическом поле или при низких частотах возбуждающего электромагнитного поля. Дипольная поляризация типична для полярных диэлектриков. Этот механизм также может вносить вклад в относительную диэлектрическую проницаемость наших образцов с учетом их способности накапливать дипольные молекулы воды и с учетом наличия пограничных слоев в области контакта.

На рисунке 1 приведены результаты импедансной спектроскопии образцов $(\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O})_{0,975} - (\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})_{0,025}$ при относительной влажности 30 и 90 %.

Годограф, получаемый при относительной влажности 90 %, показан на рисунке 1,б. Форма годографа (наличие двух областей, полуокружности и луча) позволяет утверждать, что основным механизмом переноса заряда в композитном образце $(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})_{0,975} - (\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})_{0,025}$ при высокой влажности является ионная проводимость. Сходная динамика образования годографа в форме четверти круга и луча, наклоненного под углом $\sim 45^\circ$ к оси $-\text{Im}(Z)$ при низкой влажности (рис. 1,а) позволяет предположить, что проводимость при высоких частотах обусловлена доминированием зеренной проводимости.

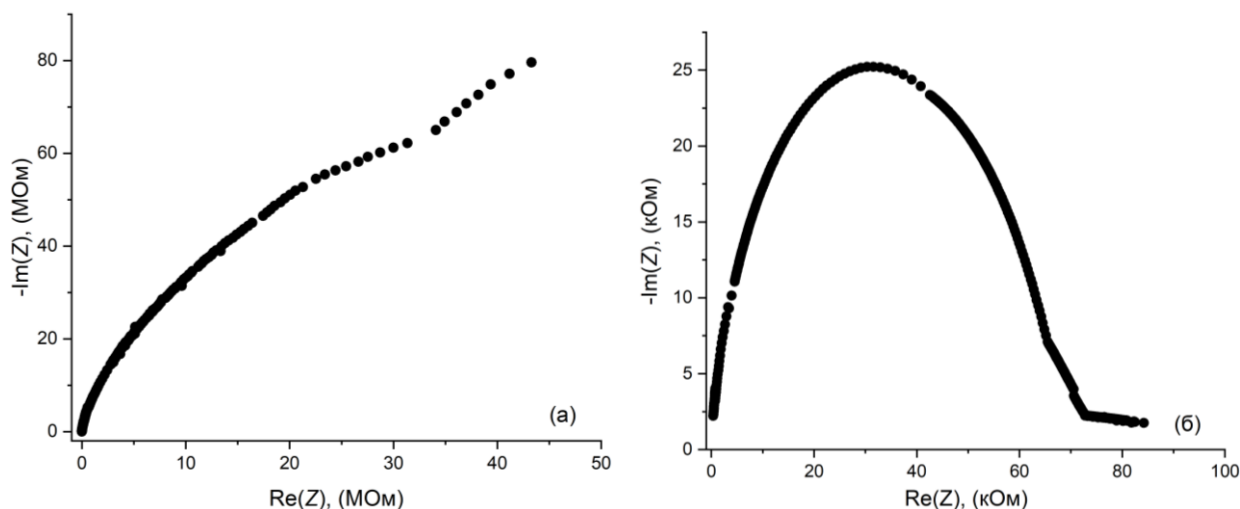


Рисунок 1 – Результаты импедансной спектроскопии образцов $(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})_{0.975} - (\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})_{0.025}$ при относительной влажности 30 % и 90 %

Эти заключения подтверждаются, в том числе низким комплексным сопротивлением Z во всем диапазоне влажности от 30 до 90 %. Падение величины Z при переходе от низких частот к высоким демонстрирует сильное влияние поверхностной проводимости в области контактов на комплексное сопротивление. При этом зависимость мнимой части $\text{Im}(Z)$, обусловленной емкостным сопротивлением, от реальной части $\text{Re}(Z)$ уменьшается при росте влажности (рис.1). Дальнейшее повышение относительной влажности приводит к образованию полуокружности годографа (рис. 1,б). Неупорядоченный диэлектрик, легко адсорбирующий воду из воздуха и легко отдающий до наступления равновесия, примером которого является наш композитный образец $(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})_{0.975} - (\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})_{0.025}$, представляет собой сложную электрическую цепь. Аналитическое выражение для импеданса рассматриваемой цепи имеет громоздкий вид, трудно поддающийся анализу. Поведение годографа импеданса можно описать качественно. Мы предлагаем использовать традиционную эквивалентную схему ячейки из твердого электролита с блокирующими электродами без учета сопротивления границ зерен (Рис.2).

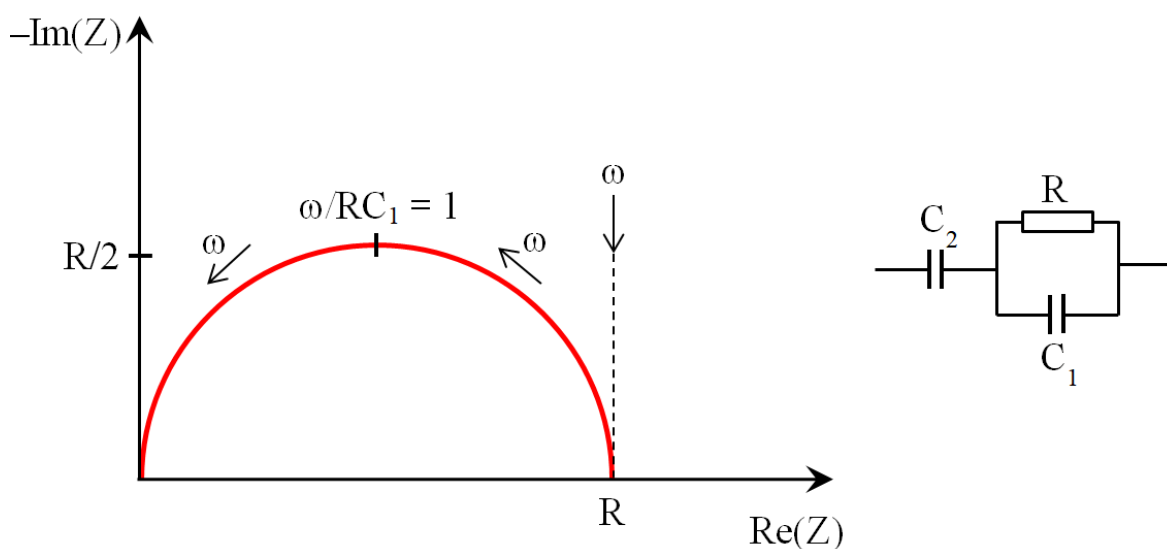


Рисунок 2 – Эквивалентная схема ячейки из твердого электролита с блокирующими электродами без учета сопротивления границ зерен

Для высоких частот, ввиду малой величины комплексного сопротивления по сравнению с активным, можно пренебречь влиянием емкости C_2 . Поэтому высокочастотная часть годографа

представляет собой полуокружность радиуса $R/2$, который проходит через начало координат. Для низких частот в пределе ($\omega \rightarrow 0$) мы, наоборот, пренебрегаем влиянием емкости C_1 (которой соответствует очень большой импеданс $1/\omega C_1$). Такая схема применяется для описания электрохимических ячеек с учетом геометрической емкости. Сопротивление соответствует сопротивлению образца, емкость C_2 – емкости двойного слоя в области контактов, C_1 – геометрическая емкость ячейки (емкость образца заключенного между электродами).

Выводы

В результате исследования электропроводности методом импедансной спектроскопии в диапазоне частот 200 Гц – 5 МГц при амплитуде переменного сигнала 1 В без поляризации постоянного тока композитных образцов цитрогипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), являющегося отходом процесса производства лимонной кислоты и легированного сульфатом меди ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), обнаружено, что механизмом переноса заряда является ионная проводимость. На основании наблюдения годографов импеданса образцов $(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})_{0.975} - (\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})_{0.025}$ при высокой влажности предложена эквивалентная схема ячейки из твердого электролита с блокирующими электродами без учета сопротивления границ зерен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Moustafa H., Morsy M., Ateia M.A., Abdel-Haleem F.M. Ultrafast response humidity sensors based on polyvinyl chloride/graphene oxide nanocomposites for intelligent food packaging // *Sensors and Actuators A: Physical*. 2021. №331. С. 112918.
2. Xuan W., He M., Meng N., He X., Wang W., Chen J., Shi T., Hasan T., Xu Z., Xu Y., Luo J.K. Fast Response and High Sensitivity ZnO/glass Surface Acoustic Wave Humidity Sensors Using Graphene Oxide Sensing Layer // *Scientific Reports*. 2014. №4(1). С.1–9.
3. Liu H., Wang Q., Sheng W., Wang X., Zhang K., Du L., Zhou J. Humidity Sensors with Shielding Electrode Under Interdigitated Electrode // *Sensors*. 2019. Т.19(3). С.659.
4. Pandey M., Mishra P., Saha D., Sengupta K., Jain K., Islam S.S. Nanoporous alumina (γ - and α -phase) gel cast thick film for the development of trace moisture sensor // *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. 2013. Т.68(2). С.317–323.
5. Ramaprasad A.T., Rao V. Chitin–polyaniline blend as humidity sensor // *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2010. Т.148(1). С.117–125.
6. Nikulicheva T.B., Zakhvalinskii V.S., Pilyuk E.A., Nikulin I.S., Vyazmin V.V., Mishunin M.V. New humidity sensor material $(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})_{0.975} - (\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})_{0.025}$ // *Materialia*. 2023. Т.27. С.101662.

Вязьмин Виталий Владимирович

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород
лаборант-исследователь лаборатории перспективных материалов и технологий
Тел.: +7(906) 565-57-67
E-mail: 1377057@bsu.edu.ru

Никulichева Татьяна Борисовна

ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород
к.ф.-м.н., доцент, заведующий лабораторией перспективных материалов и технологий
Тел.: +7(905) 670-72-70
E-mail: nikulicheva@bsu.edu.ru

УДК 517.983.23

А.В. ГЛУШАК
A.V. GLUSHAK**ЗАДАЧА ДИРИХЛЕ ДЛЯ АБСТРАКТНОГО
УРАВНЕНИЯ ЭЙЛЕРА – ПУАССОНА – ДАРБУ****THE DIRICHLET PROBLEM FOR THE ABSTRACT
EULER – POISSON – DARBOUX EQUATIONS**

Излагаются достаточные условия однозначной разрешимости граничных задач для ряда абстрактных сингулярных уравнений, которые формулируются в терминах нулей модифицированной функции Бесселя и резольвенты операторного коэффициента рассматриваемых уравнений.

Ключевые слова: сингулярные уравнения, уравнение Эйлера–Пуассона–Дарбу, граничная задача, условия Дирихле и Неймана, однозначная разрешимость.

Sufficient conditions for the unique solvability of boundary value problems for a number of abstract singular equations that are formulated in terms of the zeros of the modified function Bessel and the resolvent of the operator coefficient of the considered equations.

Keywords: singular equations, Euler–Poisson–Darboux equation, boundary value problem, Dirichlet and Neumann conditions, unique solvability.

В банаховом пространстве E рассмотрим задачу определения функции, удовлетворяющей абстрактному уравнению Эйлера–Пуассона–Дарбу

$$u''(t) + \frac{k}{t}u'(t) = Au(t), \quad 0 < t < 1, \quad (1)$$

а также некоторым граничным условиям.

Постановка граничных условий для уравнения Эйлера–Пуассона–Дарбу в силу сингулярности уравнения в точке $t = 0$ зависит от параметра k . Различные виды этих граничных условий в точках $t = 0$ и $t = 1$, а также соответствующие критерии единственности решения граничных и нелокальных задач установлены автором ранее в [1,2].

В настоящем исследовании на конечном интервале $[0,1]$ устанавливаются достаточные условия однозначной разрешимости граничных задач Дирихле и Неймана для абстрактного уравнения Эйлера–Пуассона–Дарбу (1), а также для ряда вырождающихся дифференциальных уравнений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глушак А.В. Критерий единственности решения граничных задач для абстрактного уравнения Эйлера–Пуассона–Дарбу на конечном интервале. – Математ. заметки. – 2021. – Т. 109, вып. 6. – С. 821–831.
2. Глушак А.В. Критерий единственности решения нелокальных задач на конечном интервале для абстрактных сингулярных уравнений. – Математ. заметки. – 2022. – Т. 111, вып. 1. – С. 20–32.

Глушак Александр Васильевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород.

Доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры прикладной математики и компьютерного моделирования.

E-mail: glushak@bsu.edu.ru

УДК 532.546

В.И. ДОРОФЕЕВА, Е.Ю. ПОТАПОВА
V.I. DOROFYEVA, E.Yu. POTAPOVA

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛУПРОНИЦАЕМОГО ВКЛЮЧЕНИЯ И ДРЕНАЖНЫХ СИСТЕМ НА ПРОЦЕСС ОСЕДАНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД

STUDY OF THE INFLUENCE OF SEMI-PERMEABLE INCLUDE AND DRAINAGE SYSTEMS ON THE PROCESS OF GROUNDWATER SETTLEMENT

В данной статье исследуется процесс оседания бугра грунтовых вод на основе математической модели «поршневого» вытеснения, построенной для случая наличия дренажных систем и полупроницаемого включения с различными коэффициентами проницаемости в области протекания процесса. Приведены примеры процесса оседания грунтовых вод в однородных слоях при наличии двух стоков и одного включения. Численная реализация выполнена на основе метода дискретных особенностей посредством разработанного программного обеспечения с помощью языка программирования Python и пакетов NumPy, SciPy и SymPy.

Ключевые слова: эволюция свободной поверхности; метод дискретных особенностей; практическая сходимость

In this article, the process of subsidence of a groundwater mound is studied on the basis of a mathematical model of «piston» displacement, built for the case of the presence of drainage systems and a semi-impermeable inclusion with different permeability coefficients in the area of the process. Examples of the process of subsidence of groundwater in homogeneous layers in the presence of two sinks and one inclusion are given. The numerical implementation is based on the discrete singularities method using the developed software using the Python programming language and the NumPy, SciPy and SymPy packages.

Keywords: free surface evolution; discrete singularity method; practical convergence

1. Введение

Одними из наиболее востребованных являются задачи, описывающие природные явления и позволяющие провести анализ происходящих процессов. Выбор темы исследования обусловлен необходимостью изучения математической модели процесса изменения уровня грунтовых вод, что имеет непосредственное прикладное значение [1-3].

В данной работе анализируется задача о совместном движении двух жидкостей в постановке Лейбена-Маскета (модель «поршневого» вытеснения), причем внешняя жидкость рассматривается как фиктивная; после построения основной системы интегрального и дифференциального уравнений выбирается предельный случай, в котором вязкость и плотность внешней жидкости стремятся к нулю. Для численного решения основной системы интегрального и дифференциального уравнений применяется метод дискретных особенностей, который дает возможность численно решить задачу с высокой степенью достоверности результата [4-7].

В качестве языка программирования, обеспечивающего высокую скорость и точность решения при работе с большим объемом информации, используется высоко-уровневый язык программирования Python с пакетами NumPy, SciPy и SymPy [8].

2. Постановка задачи

Рассмотрим двумерную задачу об одновременной фильтрации двух жидкостей в пористой среде в постановке Лейбена-Маскета [9]. В кусочно-однородном изотропном слое грунта рассмотрим область D , занятую одной жидкостью с вязкостью и плотностью $\mu_2 = 1$ и $\rho_2 = 1$, окруженную другой с вязкостью и плотностью μ_1 и ρ_1 . Жидкости разделены резкой гладкой кривой L_t . Ее начальное положение L_0 известно. Область совместной фильтрации жидкостей может быть ограничена непроницаемой линией L_I , разделяющей грунт или непроницаемые породы.

Полагаем, что в области фильтрации имеется одно полупроницаемое включение, причем границу, разделяющую среды с различными коэффициентами проницаемости, обозначим через L_{S_1} . Проницаемость пористой среды описывается функцией $K_d(\mathbf{x}) = K_d K(\mathbf{x})$, $d = 1, 2$, где $K(\mathbf{x}) = 1$ во всей области протекания процесса D , коэффициент K_d - безразмерная константа, $\mathbf{x} = \mathbf{x}$, $\mathbf{x} = (x, y) \in R^2$. Полагаем, что внутри замкнутого контура L_{S_1} проницаемость описывается функцией $K_2(\mathbf{x})$, вне L_{S_1} - функцией $K_1(\mathbf{x})$. Границы L_{S_1} и L_t входят в область протекания процесса, L_l - непроницаемая граница (Рисунок 1).

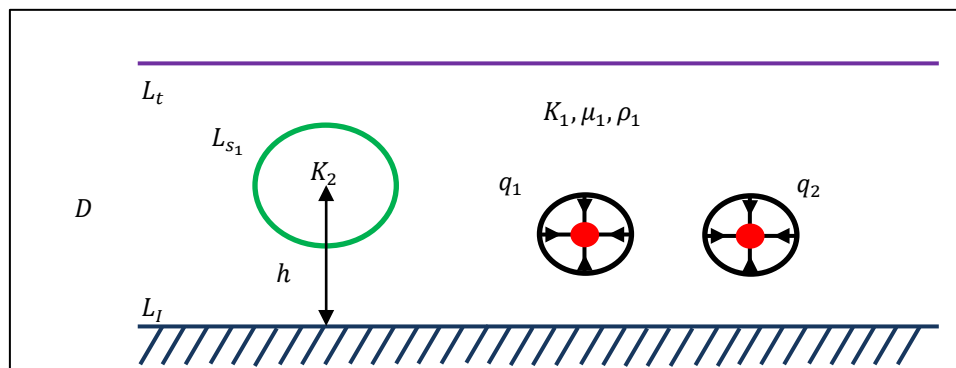


Рисунок 1 – Постановка задачи

В результате, с учетом того, что $\mu_1 \rightarrow 0$ и $\rho_1 \rightarrow 0$, получаем систему интегральных уравнений:

$$\begin{aligned} g_{S_1}(\mathbf{x}, t) - 2\lambda_{S_1} \sum_{j=I, S_1, t} G[g_j, L_j](\mathbf{x}, t) &= 0, \quad \mathbf{x} \in L_{S_1}, \\ g_t(\mathbf{x}, t) - 2\lambda_t \sum_{j=I, S_1, t} G[g_j, L_j](\mathbf{x}, t) &= 2K_2\alpha\Pi(\mathbf{x}), \\ \mathbf{x} \in L_t, \lambda_t &= 1, \alpha = -1. \end{aligned} \quad (1)$$

Оператор скорости квазипотенциала двойного слоя, будет иметь вид [9]:

$$\begin{aligned} V[g_i, L_i](\mathbf{x}) &= \int_{L_i} \frac{\partial g_i(\mathbf{y})}{\partial l_y} V_2(\mathbf{x}, \mathbf{y}) dl_y, \\ i &= I, S_1, t. \end{aligned} \quad (2)$$

где $V_2 = \frac{\partial \Psi_2(M, N)}{\partial y_M} \bar{e}_x - \frac{\partial \Psi_2(M, N)}{\partial x_M} \bar{e}_y$ - скорость вихря с полной циркуляцией, равной -1, Ψ_2 - функция тока этого вихря, \bar{e}_x и \bar{e}_y - единичные орты, таким образом имеем дифференциальное уравнение движения границы L_t

$$\frac{\partial \mathbf{x}}{\partial t} = \mathbf{v}_0(\mathbf{x}, t) + \sum_{j=S_1, t, I} V[g_j, L_j](\mathbf{x}), \quad \mathbf{x} \in L_t. \quad (3)$$

Граничные условия на L_l учитываются подбором функций Φ_1 и Ψ_2 .

Построим дискретный аналог для основной системы (1) и дифференциального уравнения (3) и получим численный аналог исходной задачи [7-9], а далее проведем вычисления на основе разработанного программного обеспечения на основе языка программирования Python с пакетами NumPy, SciPy и SymPy [8].

3. Результаты исследования

Пусть область протекания процесса ограничена непроницаемой прямой границей L_l , тогда потенциал источника и функция тока, входящие в ядра интегралов основной системы имеют вид:

$$\Phi_1 = -\frac{\ln|x-y|}{2\pi} - \frac{\ln|x-\tilde{y}|}{2\pi}, \quad \Psi_2 = \frac{\ln|x-y|}{2\pi} - \frac{\ln|x-\tilde{y}|}{2\pi}, \quad \tilde{\mathbf{y}} = (x, -y).$$

1. Рассмотрим случай, когда имеется включение с $\lambda_{S_1} = -0.2$, $n=800$, $H_0 = 0.9$, $T=0.52$, $S=1.78$, $q_1 = q_2 = -1.5$, $h=0.4$. На Рисунке 2 построены последовательные положения подвижной границы L_t .

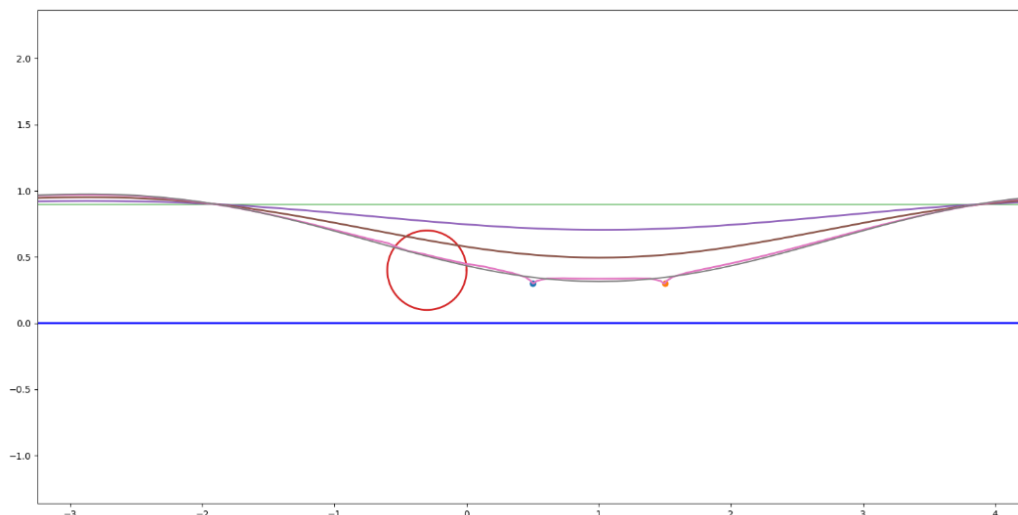


Рисунок 2 – Процесс изменения уровня грунтовых вод в однородном слое при $n=800$, $T=0.52$, $S=1.78$, $\lambda_{S_1} = -0.2$, $q_1 = q_2 = -1.5$, $h=0.4$

Рассмотрим поле скоростей в области протекания процесса в фиксированный момент времени $t=0$ (рисунок 3).

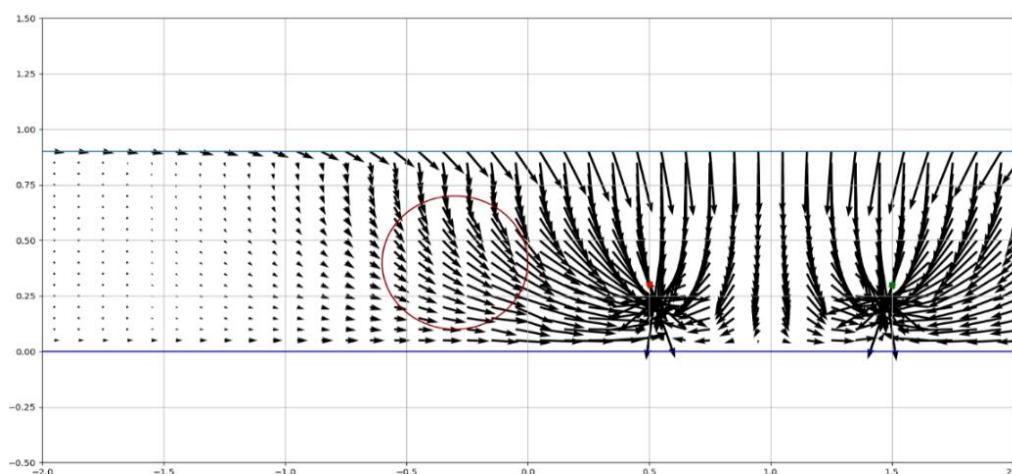


Рисунок 3 – Поле скоростей в момент времени $t=0$ при $n=800$, $\lambda_{S_1} = -0.2$, $q_1 = q_2 = -1.5$, $h=0.4$

Анализируя рисунок, замечаем, что поле скоростей имеет физический смысл.

2. Теперь будем исследовать случай, когда проницаемость вне замкнутого контура $L_{S_1} - K_1(\bar{x})$ больше, чем внутри – $K_2(\bar{x})$.

Выберем включение с $\lambda_{S_1} = 0.8$, $n=800$, $H_0 = 0.9$, $T=0.6$, $S=1.7$, $q_1 = q_2 = -1.5$, $h=0.4$. Рассмотрим поле скоростей в области протекания процесса в фиксированный момент времени $t=0$ (рисунок 4). Анализируя этот рисунок, замечаем, что поле скоростей имеет физический смысл.

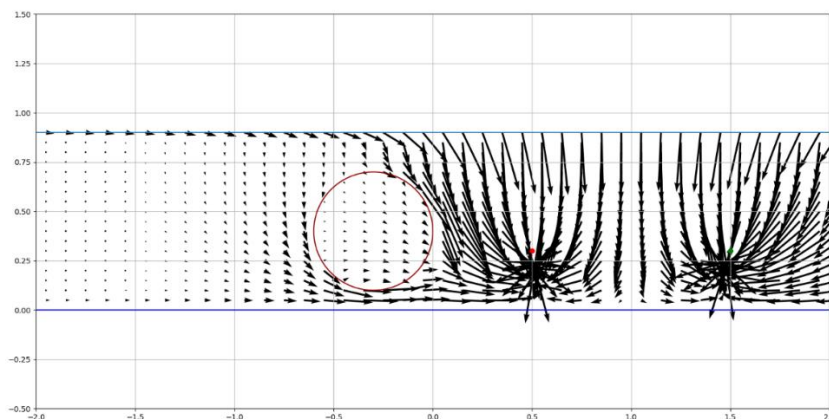


Рисунок 4 – Поле скоростей в момент времени $t=0$ при $n=800$, $\lambda_{S_1} = 0.8$, $q_1 = q_2 = -1.5$, $h=0.4$

Проверим практическую сходимость задачи при $\Delta t = 0.01$, $\Delta t = 0.005$, $h=0.4$ при $\lambda_{S_1} = 0.8$. Результаты внесены в таблицу ниже (Таблица 1).

Таблица 1 – Таблица практической сходимости

n		100	200	400	800	1600	3200
$\Delta t = 0.01$	T	0,75	0,79	0,64	0,6	0,63	0,65
	$\eta\%$	-	5,33	18,99	6,25	5,00	3,17
$\Delta t = 0.005$	T	0,7450	0,6950	0,6350	0,6500	0,6400	0,6450
	$\eta\%$	-	6,71	8,63	2,36	1,54	0,78

Здесь $\eta = \left| 1 - \frac{T}{T_p} \right|$, где T – время для количества точек n , T_p – время для $n/2$.

3. Рассмотрим случай расположения точек дренажа по разные стороны от полупроницаемого включения, когда $\lambda_{S_1} = 0.4$, $n=800$, $H_0 = 1.0$, $T=0.65$, $S=2.42$, $q_1 = q_2 = -1.5$, $h=0.4$. На Рисунке 5 построены последовательные положения подвижной границы L_t .

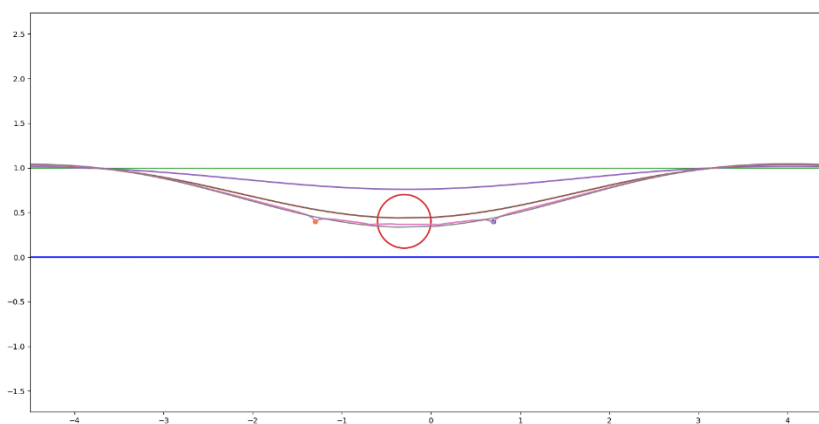


Рисунок 5 – Процесс изменения уровня грунтовых вод в однородном слое при $n=800$, $T=0.65$, $S=2.42$, $\lambda_{S_1} = 0.4$, $q_1 = q_2 = -1.5$, $h=0.4$

Рассмотрим поле скоростей в области протекания процесса в фиксированный момент времени $t=0$ (рисунок 6).

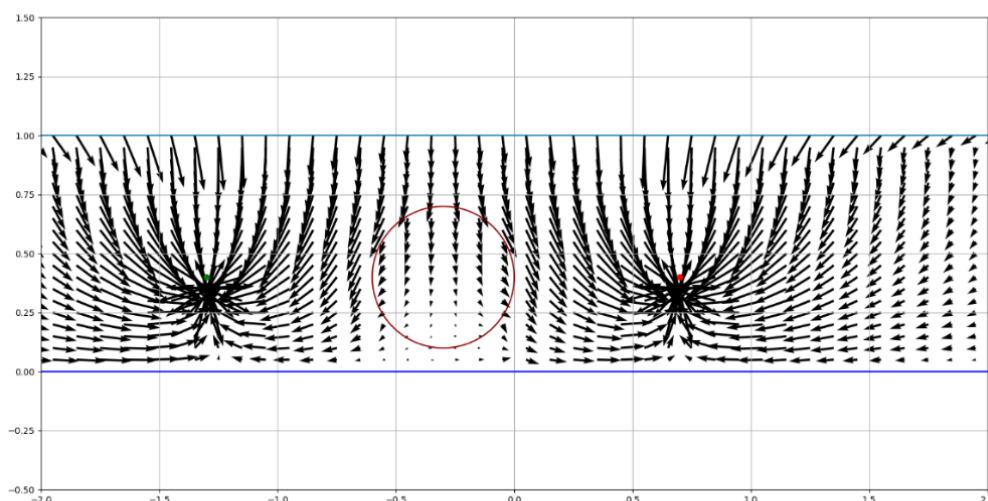


Рисунок 6 – Поле скоростей в момент времени $t=0$ при $n=800$, $\lambda_{S_1} = 0,4$,
 $q_1 = q_2 = -1.5$, $h=0.4$

Анализируя этот рисунок, замечаем, что поле скоростей имеет физический смысл.

4. Заключение

В результате исследования можем констатировать, что построенная математическая модель достаточно хорошо описывает процесс оседания бугра грунтовых вод под действием силы тяжести, нескольких стоков дренажной системы и наличия полупроницаемого включения. Дальнейшие исследования направлены на анализ модели при увеличении количества полупроницаемых включений и стоков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Akter, Aysha & Ahmed, Shoukat. (2021). Modeling of groundwater level changes in an urban area. Sustainable Water Resources Management. 7. 10.1007/s40899-020-00480-x.
2. Winter, T.C., J.W. Harvey, O.L. Franke, and W.M. Alley. 1998. Ground Water and Surface Water: A Single Resource. USGS Circular 1139.
3. N Ravshanov and Sh Daliev 2020 J. Phys.: Conf. Ser. 1441 0121634. Shifting paradigms in international investment law : more balanced, less isolated, increasingly diversified / eds. Hindelang S., Krajewski M. Oxford : Oxford University Press, 2015. 432 p.
4. Ivan K. Lifanov Singular Integral Equations and Discrete Vortices. Utrecht, VSP (1996). 475 p.
5. Nikol'skii D.N. Mathematical Simulation of the Evolution of a Liquid-Liquid Interface in Piecewise Inhomogeneous Layers of Complex Geological Structure//Computation Mathematics and Mathematical Physics, 2013. V.53, No 6. pp. 858-865.
6. Nikol'skii D.N. Three-dimensional evolution of the boundary of a polluted area in a bounded piecewise homogeneous porous material//Computational Mathematics and Mathematical Physics, 2011, Volume 51, Issue 5, pp.855-861. EDN: OIBIBR
7. Nikol'skii D.N., Dorofeyeva V.I. Mathematical Modeling of the Two-Dimensional Process of Changing Groundwater Levels under Gravity by the Method of Discrete Singularities // Numerical Methods and Programming (Vychislitel'nye Metody i Programirovanie). 2011. 12. 85-89 (In Russ.)
8. Gaddis, Tony. Starting Out with Python. Pearson Education, 2018. Print.
9. Дорощева В.И., Соромотина А.А. Моделирование процесса оседания грунтовых вод под действием силы тяжести и системы дренажных устройств при наличии полупроницаемых включений

ний // Современные проблемы физико-математических наук. Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Под общей редакцией Т.Н. Можаровой. Орел, 2021, с. 226-229.

Виктория Ивановна Дорофеева

Орловский государственный университет имени И.С.Тургенева, г.Орёл
К.ф.-м.н., зав.кафедрой информатики
Тел.: +7(960)646-95-80
vdorofey@mail.ru

Екатерина Юрьевна Потапова

Орловский государственный университет имени И.С.Тургенева, г.Орёл
Студент
katja-potapova16@rambler.ru

УДК 517.9

Л.А. КОВАЛЕВА, В.В. БОЛЬШАНИН, Г.А. ВЕРЕИТИНОВА
L.A. KOVALEVA, V.V. BOLSHANIN, G.A. VEREITINOVA**РАЗРЕШИМОСТЬ ЗАДАЧИ НЕЙМАНА ДЛЯ ОДНОГО УРАВНЕНИЯ,
ЗАДАННОГО НА ПИРАМИДЕ****SOLVABILITY OF THE NEUMANN PROBLEM FOR A SINGLE
EQUATION GIVEN ON A PYRAMID**

В данной работе авторы рассматривают в трехмерном пространстве краевую задачу для эллиптического уравнения на двумерном комплексе, на границе которого задано условие Дирихле. В рамках теоретико-функционального подхода задачу удается редуцировать к нелокальной краевой задаче Римана. Поиск решения задачи осуществляется в пространствах Гельдера с весом. В статье доказывается фредгольмова разрешимость задачи, подсчитан ее индекс.

Ключевые слова: задача Неймана, двумерный комплекс; задача Римана; индекс задачи; краевая задача; пространство Гельдера с весом

In this article, the authors consider in three-dimensional space a boundary value problem for an elliptic equation on a two-dimensional complex, on the boundary of which the Dirichlet condition is given. Within the framework of the functional-theoretic approach, the problem can be reduced to a nonlocal Riemann boundary value problem. The search for a solution to the problem is carried out in Hölder spaces with weight. The article proves the Fredholm solvability of the problem, calculates its index.

Keywords: the Neumann problem, two-dimensional complex; the Riemann problem; task index; boundary task; Hölder space with weight

На современном этапе развития математики, как науки, задача Дирихле является одной из самых востребованных задач. Связана это прежде всего с тем, что она возникает не только на плоскости, но и на многообразиях. Моделируя различные физические процессы, ученые получают набор уравнений с краевыми условиями Дирихле. Так, например, рассматривая колебания мембран, диффузию в неоднородных средах или в среде со сложным геометрическим устройством получается задача Дирихле на многообразиях разной размерности или так называемых стратифицированных множествах. Этим задачам посвящены исследования G. Lumer'a [4] и О.М. Пенкина [5].

В работе Овчинникова Ю.Н., И.А. Лукьянчук, [2] сформулирована задача о распределении поля и проводимости многокомпонентной системы, составленной из правильных треугольников. Эта задача может быть исследована в рамках теории, связанной с задачей Римана и описанной в работах А.П. Солдатова [1, 3].

В пространстве R^3 рассмотрим комплекс K , полученный из четырехугольной пирамиды путем выбрасывания основания. Общую вершину всех граней обозначим τ_0 , остальные вершины τ_j , $j = 1, 2, 3, 4$ распределим таким образом, чтобы $M_1 = \{\tau_0 \tau_1 \tau_2\}$, $M_2 = \{\tau_0 \tau_2 \tau_3\}$, $M_3 = \{\tau_0 \tau_3 \tau_4\}$ и $M_4 = \{\tau_0 \tau_4 \tau_1\}$. Множество F_j , $j = 1, 2, 3, 4$ состоит из точек τ , соответствующих вершинам M_j , а их объединение $F = \bigcup_{j=1}^n F_j$.

Будем считать, что грани M_1, M_3 и M_2, M_4 попарно имеют равные углы при вершине τ_0 , которые обозначим соответственно θ_1 и θ_2 .

Также нам необходимо обозначить стороны граней, которые в дальнейшем будем называть ребрами комплекса, следующим образом $L_l = \{\tau_0 \tau_l\}$, $l = 1, \dots, 4$, $L_5 = \{\tau_1 \tau_2\}$, $L_6 = \{\tau_2 \tau_3\}$, $L_7 = \{\tau_3 \tau_4\}$ и $L_8 = \{\tau_4 \tau_1\}$.

Задача Неймана состоит в определении семейства из четырех гармонических функций $u^j \in C(\overline{M_j} \setminus F_j)$, удовлетворяющих на ребрах L_l , $l = 1, \dots, 4$ следующим контактными условиям

$$u^4 = u^1, \quad v_1 \frac{\partial u^4}{\partial n} + v_2 \frac{\partial u^1}{\partial n} = 0 \text{ на } L_1, \quad u^1 = u^2, \quad v_1 \frac{\partial u^1}{\partial n} + v_2 \frac{\partial u^2}{\partial n} = 0 \text{ на } L_2,$$

$$u^2 = u^3, \quad v_2 \frac{\partial u^2}{\partial n} + v_1 \frac{\partial u^3}{\partial n} = 0 \text{ на } L_3, \quad u^3 = u^4, \quad v_1 \frac{\partial u^3}{\partial n} + v_2 \frac{\partial u^4}{\partial n} = 0 \text{ на } L_4.$$

Здесь n – нормаль, направленная внутрь грани M .

На ребрах $L_l, l = 5, 6, 7, 8$ выполнено условие Неймана

$$\frac{\partial u^i}{\partial n} |_{L_l} = f_l, \quad l = 5, 6, 7, 8 \quad j = 1, 2, 3, 4.$$

Эту задачу можно переформулировать по отношению к аналитическим функциям φ^j , реальные части которых совпадают с гармоническими функциями u^j . Так как мнимые функции φ^j определены с точностью до константы, с учетом соотношений Коши-Римана предыдущие краевые условия переходят соответственно в

$$\begin{aligned} \operatorname{Re}(\varphi^1 - \varphi^2) &= 0, & \operatorname{Im}(v_1 \varphi^1 + v_2 \varphi^2) &= C_1, & \text{на } L_2 \\ \operatorname{Re}(\varphi^2 - \varphi^3) &= 0, & \operatorname{Im}(v_2 \varphi^2 + v_1 \varphi^3) &= C_2, & \text{на } L_3 \\ \operatorname{Re}(\varphi^3 - \varphi^4) &= 0, & \operatorname{Im}(v_1 \varphi^3 + v_2 \varphi^4) &= C_3, & \text{на } L_4 \\ \operatorname{Re}(\varphi^4 - \varphi^1) &= 0, & \operatorname{Im}(v_1 \varphi^1 + v_2 \varphi^4) &= C_4, & \text{на } L_1 \end{aligned}$$

$$\operatorname{Re} \varphi^j |_{L_l} = f_l, \quad l = 5, 6, 7, 8 \quad j = 1, 2, 3, 4,$$

здесь $C_l, l = 1, 2, 3, 4$ некоторые константы.

Заметим, что по отношению к грани комплекса, его ребро повторяется два раза. Тогда, учитывая этот факт, введем единую нумерацию $\Gamma_n, n = 1, \dots, 12$, для всех ребер и ориентируем их так, чтобы при обходе область оставалась слева. Далее, выбрав гладкие параметризации $\gamma_i: [0, 1] \rightarrow \Gamma_i$ согласованные с ориентацией дуг Γ_i .

Сужение функции φ^j , на отрезок Γ_i , принадлежащий соответствующей грани M_j , дает граничное значение функции φ^j , которое обозначим φ_i^+ . Семейство всех граничных значений обозначим $\varphi^+ = (\varphi_i^+)^{12}$. Тогда с помощью введенных параметризаций семейство φ^+ "снесем" на интервал $(0, 1)$ и получим вектор с компонентами $\varphi_{\gamma, i}^+ = \varphi_i^+ \circ \gamma_i, 1 \leq i \leq 12$. В этих обозначениях краевые условия запишутся в виде

$$\operatorname{Re} a \varphi_{\gamma}^+ = f$$

с блочно-диагональной матрицей $a = \operatorname{diag}(a_1, a_2, a_1, a_2, a_3) \in \mathbb{C}^{12 \times 12}$

$$a_1 = \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -iv_2 & -iv_1 \end{pmatrix}, \quad a_2 = \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -iv_1 & -iv_2 \end{pmatrix},$$

$$a_3 = -1, \in \mathbb{C}^{4 \times 4}.$$

и 12-вектор-функцией f , заданной на интервале $(0, 1)$.

Заметим, что в такой постановке, задача относится к типу нелокальных краевых задач Римана, подробно изученных в работах [1, 3].

Поставленную задачу рассмотрим в весовом классе Гельдера, найдем значение для индекса задачи, и изучим асимптотику поведения функции в угловых точках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковалева Л. А., Солдатов А. П. Задача Дирихле для функций, гармонических на двумерной сети // Итоги науки и техн. Сер. Современ. мат. и ее прил. Темат. обз., 2019. – №160. – С. 42-48.
2. Овчинников Ю. Н., Лукьянчук И. А. Проводимость и распределение токов в двухкомпонентной системе, состоящей из правильных треугольников // ЖЭТФ, 2002. – №121(1). – С. 239-252.
3. Солдатов А. П. Метод теории функций в эллипс. краевых задачах на плоскости. II. Кусочно-гладкий случай // Изв. АН СССР. 1992. –Т. 56 – №3. – С. 566-604.

4. Lumer, G. Espaces ramifés et diffusion sur les réseaux topologiques // C.R. Acad. Sc. Paris. – 1980. – Serie A. – 291. – P. 219-234.

5. Penkin O. M. Second-order elliptic equations on a stratified set. Differential equations on networks // J. Math. Sci. (N. Y.). – 2004. – Т. 119. – №6. – P. 836-867

Ковалева Лидия Александровна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
К. ф.-м. н., доцент, доцент кафедры «Прикладной математики и компьютерного моделирования»
Тел.: +7(4722) 30-13-00*4267
E-mail: Kovaleva_L@bsu.edu.ru

Большанин Василий Викторович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
магистрант кафедры «Прикладной математики и компьютерного моделирования»
Тел.: +7(4722) 30-13-00*4267

Веретнинова Галина Александровна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
магистрант кафедры «Прикладной математики и компьютерного моделирования»
Тел.: +7(4722) 30-13-00*4267

УДК 004.94

В.В. МЕНЬШИХ, В.А. НИКИТЕНКО
V.V. MENSHIKH, V.A. NIKITENKO

УЧЁТ СИНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ПРИ СОВМЕСТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ СИЛОВЫХ ВЕДОМСТВ, УЧАСТВУЮЩИХ В ЭВАКУАЦИИ ИЗ ЗОНЫ ЧРЕЗВЫЧАЙНОГО ОБСТОЯТЕЛЬСТВА

CONSIDERATION OF SYNERGETIC EFFECTS IN THE JOINT ACTIVITIES OF LAW ENFORCEMENT AGENCIES INVOLVED IN EVACUATION FROM THE EMERGENCY ZONE

В статье производится описание синергетических эффектов при совместной деятельности нескольких подразделений силовых ведомств, осуществляющих эвакуацию из зоны чрезвычайного обстоятельства.

Ключевые слова: чрезвычайное обстоятельство, совместные действия функциональных групп, функциональные группы, синергетические эффекты.

The article describes the synergetic effects of the joint activities of several units of law enforcement agencies carrying out evacuation from the emergency zone.

Keywords: extraordinary circumstance, joint actions of functional groups, functional groups, synergetic effects.

При возникновении различного рода чрезвычайных обстоятельств (ЧО) [1, 2], формируется орган оперативного управления, который в свою очередь устанавливает состав функциональных групп (ФГ) для ликвидации ЧО. В состав органа оперативного управления входят различные силовые ведомства, которые выделяют личный состав для формирования ФГ, в зависимости от вида ЧО. Для оптимального выбора состава ФГ [3 – 5] необходимо учитывать не только вид ЧО, но и фактор их совместного функционирования, который может как увеличивать их эффективность, так и уменьшать т.е. требуется учитывать синергетические эффекты, возникающие при их совместном функционировании.

Как показано в [6], процесс функционирования ФГ представляет собой динамическую систему и, следовательно, эффективным аппаратом моделирования действий ФГ является теория автоматов [7]. Тогда можно описать деятельность всех ФГ автоматом [8]. Данный подход поможет получить оптимальную последовательность для каждой ФГ. Чтобы описать данный автомат необходимо получить зависимости, которые отображают синергетические эффекты при функционировании сразу нескольких ФГ, которые могут возникать за счет их совместной деятельности. Рассмотрим пример учета синергетических эффектов при выполнении поиска и эвакуации пострадавших и материальных ценностей из зоны ЧО.

Пусть

ФГ1 осуществляет поиск и эвакуацию пострадавших и материальных ценностей (далее поиск и эвакуация) за время t^1 и ей требуется r^1 ресурсов, при этом предотвращенный ущерб составляет p^1 .

ФГ2 осуществляет поиск и эвакуацию за время t^2 и ей требуется r^2 ресурсов и предотвращенный ущерб составляет p^2 .

Если они будут работать совместно, то время выполнения поиска будет определяться

$$\gamma^{12} \frac{1}{\frac{1}{t^1} + \frac{1}{t^2}} = \gamma^{12} \frac{t^1 t^2}{t^1 + t^2},$$

где γ^{12} – коэффициент, учитывающий синергетический эффект, который может быть получен на основе экспертных оценок. Ресурс, который потребуется этим группам определяется следующим образом

$$\beta^{12} \left(\gamma^{12} \frac{t^1 t^2}{t^1 + t^2} (r^1 + r^2) \right),$$

где β^{12} – коэффициент, учитывающий синергетический эффект. Данная зависимость обусловлена тем, что чем больше по времени ФГ1 и ФГ2 осуществляют поиск и эвакуацию, тем большее количество ресурсов им потребуется. При этом, предотвращенный ущерб определяется выражением

$$p^{12} = \alpha^{12} \left(g_p \left(\gamma^{12} \frac{t^1 t^2}{t^1 + t^2}, \beta^{12} \left(\gamma^{12} \frac{t^1 t^2}{t^1 + t^2} (r^1 + r^2) \right) \right) \cdot (p^1 + p^2) \right),$$

где α^{12} – коэффициент, учитывающий синергетический эффект. Функция g_p является монотонной убывающей по времени и монотонно возрастающей по ресурсам: чем быстрее ФГ1 и ФГ2 осуществят поиск и эвакуацию тем предотвращенный ущерб будет больше, а также если этим группам выделить большее количество ресурсов (например, ресурс в виде автотранспорта и поисковых собак), тем большее количество они смогут найти и эвакуировать. В связи с тем, что явный вид функции g_p определить затруднительно, следует использовать имитационную модель, которая позволяет получить оценки предотвращенного ущерба в результате действий всех подразделений с учетом их совместной деятельности на основе конкретных значений предотвращенного ущерба, времени, ресурсов всех ФГ. После этого можно произвести аппроксимацию данных значения для получения аналитического вида функции g_p .

ФГ3 осуществляет контрольно-пропускной режим в зоне ЧО. Время, необходимое для пропуска эвакуируемых пострадавших и материальных ценностей, найденных одной ФГ, равно t^3 ; ей требуется r^3 ресурсов и предотвращенный ущерб составляет p^3 . Тогда время для пропуска эвакуируемых пострадавших и материальных ценностей, найденных двумя ФГ, равно $2\gamma^3 t^3$. Увеличение времени на пропуск происходит за счет увеличения входного потока на контрольно-пропускной пункт. Ресурсы необходимые для осуществления пропуска $\beta^3 r^3$.

Если создать еще один контрольно-пропускной пункт (ФГ4), для которой требуется время t^4 и ресурсы r^4 , а предотвращенный ущерб составляет p^4 . Тогда время необходимое для пропуска эвакуируемых пострадавших и материальных ценностей, найденных двумя ФГ оценивается выражением $\max(\gamma^3 t^3, \gamma^4 t^4)$, что является следствием распараллеливания входного потока эвакуируемых.

Ресурсы, которые необходимы ФГ3 и ФГ4 равны $\beta^{34} (r^3 + r^4)$.

При этом, предотвращенный ущерб определяется выражением

$$p^{34} = \alpha^{34} \left(g_p \left(\max(\gamma^3 t^3, \gamma^4 t^4), \beta^{34} (r^3 + r^4) \right) \cdot (p^3 + p^4) \right)$$

С учетом полученных соотношений можно определить следующие выражения для оценки:

$$\text{времени } t^{1234} = \gamma^{1234} \left(\gamma^{12} \frac{t^1 t^2}{t^1 + t^2} + \max(\gamma^3 t^3, \gamma^4 t^4) \right);$$

$$\text{ресурса } r^{1234} = \beta^{1234} \left(\beta^{12} \left(\gamma^{12} \frac{t^1 t^2}{t^1 + t^2} (r^1 + r^2) \right) + \beta^{34} (r^3 + r^4) \right);$$

$$\text{предотвращенного ущерба } p^{1234} = \alpha^{1234} \cdot g_p (t^{1234}, r^{1234}) \cdot (p^{12} + p^{34}),$$

при выполнении совместных действий поиска и эвакуации ФГ1, ФГ2, ФГ3 и ФГ4.

В данной статье приведён пример одного из подходов учета синергетических эффектов и проиллюстрирован на численном примере. Дальнейшие исследования должны заключаться в рассмотрении других вариантов взаимодействия ФГ при ликвидации чрезвычайных обстоятельств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меньших, В.В. Модель действий органов внутренних дел в чрезвычайной ситуации техногенного характера / В.В. Меньших, А.Ф. Самороковский, А.В. Корчагин // Вестник Воронежского института МВД России. – 2013. – № 2. – С. 164-171.
2. Меньших, В.В. Алгоритм имитационного моделирования действий органов внутренних дел при чрезвычайных обстоятельствах криминального характера / В.В. Меньших, В.В. Горлов // Вестник Воронежского института МВД России. – 2013. – № 3. – С. 52-60.
3. Математическое моделирование действий органов внутренних дел в чрезвычайных обстоятельствах: монография / В.В. Меньших [и др.]. – Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2016. – 187 с.
4. Меньших, В. В. Структурные модели взаимодействия подразделений силовых ведомств при возникновении чрезвычайных ситуаций техногенного характера / В.В. Меньших, А.В. Корчагин // Труды Академии управления МВД России. – 2015. – № 2(34). – С. 54-58.
5. Меньших, В.В. Структурно-параметрическая модель ликвидации чрезвычайного обстоятельства / В.В. Меньших, В.А. Никитенко // Вестник Воронежского института МВД России. – 2022. – № 2. – С. 47-54.
6. Меньших, В.В. Обоснование выбора математического аппарата для моделирования действий органов внутренних дел при возникновении чрезвычайных обстоятельств / В.В. Меньших, В.В. Горлов, В.А. Никитенко // Вестник Воронежского института ФСИН России. – 2022. – № 4. – С. 135-141.
7. Калман Р.Э. Очерки по математической теории систем / Р.Э. Калман, П.Л. Фалб, М.А. Арбиб // 2-е изд., стереотип. – М.: Эдиториал УРСС, 2004. – 400 с.
8. Меньших, В.В. Матричное представление классических операций над автоматами / В.В. Меньших, В.А. Никитенко // Информатика: проблемы, методы, технологии: сборник материалов XXIII международной научно-практической конференции / под редакцией Д.Н. Борисова; Воронеж, Воронежский государственный университет, 15-17 февраля 2023 г. – Воронеж, ВГУ, 2023. – С. 86-891.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Меньших Валерий Владимирович

Воронежский институт МВД России, г. Воронеж.

Д.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры математики и моделирования систем.

Тел. (473) 264-92-10.

E-mail: menshikh@list.ru

Никитенко Виталий Алексеевич

Воронежский институт МВД России, г. Воронеж.

Адъюнкт Воронежского института МВД России.

Тел. (938) 145-51-29.

E-mail: vitalijnikitenko82043@gmail.com

УДК 517.9

В.А. ПОЛУНИН
V.A. POLUNIN

О РЕШЕНИЯХ ОБОБЩЕННОЙ СИСТЕМЫ КОШИ – РИМАНА ON SOLUTIONS OF THE GENERALIZED CAUCHY – RIEMANN SYSTEM

В работе рассматриваются свойства решений обобщенной системы Коши-Римана и устанавливается связь с известными фактами теории аналитических функций. В дальнейшем эти результаты будут использованы при исследовании краевых задач для рассматриваемых систем.

Ключевые слова: система Коши-Римана, интеграл Коши, гармонические функции, формула Коши

The paper considers the properties of solutions of the generalized Cauchy-Riemann system and establishes a connection with the known facts of the theory of analytic functions. In the future, these results will be used in the study of boundary value problems for the systems under consideration.

Keywords: Cauchy-Riemann system, Cauchy integral, harmonic functions, Cauchy formula

Рассмотрим семейство M_i , ($i = 1, 2, \dots, n$) ортогональных матриц порядка k ($k \geq n$), состоящих из 0, 1, -1 и удовлетворяющих условиям

$$M_i M_i^T = E, \quad M_i^T M_j + M_j^T M_i = 0, \quad i \neq j,$$

где T символ матричного транспонирования и E – единичная матрица. Семейство матриц, обладающих указанными выше свойствами называют гармонически сопряженной системой матриц [1], если для любого ненулевого вектора $x = (x_1, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n$ определитель

$$\det M(x) \neq 0, \quad M(x) = \sum_{i=1}^n x_i M_i.$$

Например, гармонически сопряженными системами матриц являются, соответственно, матрицы

$$M_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad M_2 = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

$$M_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad M_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad M_3 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Отметим связь рассматриваемых матриц с известными системами теории аналитических функций. А именно, в случае $n = 2$ для вектор-функции $u(x, y) = (u_1(x, y), u_2(x, y))^T$ система Коши-Римана может быть записана в виде

$$\left(\frac{\partial}{\partial x} M_1 + \frac{\partial}{\partial y} M_2 \right) u(x, y) = 0$$

с матрицами из (1). Если $n = 3$, то для вектор-функции $u(x) = (u_1(x), u_2(x), u_3(x), u_4(x))^T, x \in \mathbb{R}^3$ имеем систему Моисила – Теодореско [2]

$$M \left(\frac{\partial}{\partial x} \right) u(x) = 0, \quad M \left(\frac{\partial}{\partial x} \right) = \sum_{i=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_i} M_i$$

матрицами из (2), которая является трехмерным аналогом системы Коши–Римана. Здесь произведение $\partial/\partial x_i M_i$ означает дифференциальную матрицу, каждый элемент которой получается умножением элементов матрицы M_i на оператор $\partial/\partial x_i$.

В общем случае для гармонически сопряженной системы матриц получим матричный эллиптический дифференциальный оператор

$$M\left(\frac{\partial}{\partial x}\right) = \sum_{i=1}^n \frac{\partial}{\partial x_i} M_i, \quad (3)$$

который можно рассматривать как многомерный аналог оператора Коши – Римана [1].

В случае $n = 4$ оператор (3) можно представить в виде $M(\partial/\partial x) = \partial/\partial x \circ$, где \circ означает кватернионное произведение

$$\begin{aligned} \varphi \circ \psi &= (\varphi_0 \psi_0 - (\bar{\varphi}, \bar{\psi}), \varphi_0 \bar{\psi} + \psi_0 \bar{\varphi} + [\bar{\varphi}, \bar{\psi}]), \\ \varphi &= (\varphi_0, \bar{\varphi}), \psi = (\psi_0, \bar{\psi}), \bar{\varphi} = (\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3), \bar{\psi} = (\psi_1, \psi_2, \psi_3), \end{aligned}$$

выражение в круглых скобках $(\bar{\varphi}, \bar{\psi})$ означают обычное скалярное произведение, в квадратных – векторное.

Рассмотрим примеры.

1) Если $n = 3$, $\varphi_0 = 0$, то

$$\frac{\partial}{\partial x} \circ \varphi = (-\operatorname{div} \bar{\varphi}, \operatorname{rot} \bar{\varphi}).$$

Этот оператор был впервые рассмотрен А.В. Бицадзе [3].

2) В случае $n = 3$ имеем оператор Моисила – Теодореско [2]

$$\frac{\partial}{\partial x} \circ \varphi = (-\operatorname{div} \bar{\varphi}, \operatorname{rot} \bar{\varphi} + \operatorname{grad} \varphi_0)$$

3) Если $n = 4$ и $t = (t_0, t_1, t_2, t_3)$ получим оператор

$$\frac{\partial}{\partial x} \circ \varphi = \left(\frac{\partial \varphi_0}{\partial t_0} - \operatorname{div} \bar{\varphi}, \frac{\partial \bar{\varphi}}{\partial t_0} + \operatorname{rot} \bar{\varphi} + \operatorname{grad} \varphi_0 \right)$$

который впервые был рассмотрен в работе Fueter R. [4].

В ограниченной области $D \subset R^n$ для вектор–функции $u(x) = (u_1(x), \dots, u_k(x))^T$,

($k \geq n$), $x \in R^n$ рассмотрим систему дифференциальных уравнений с частными производными первого порядка с дифференциальным оператором (3)

$$M\left(\frac{\partial}{\partial x}\right)u(x) = 0. \quad (4)$$

Эту систему называют обобщенной системой Коши–Римана [5]. Напомним, что вектор–функция $u(x) \in C^1(D)$, являющаяся решением системы (4) в области D , называется аналитической в этой области [6].

Справедливы следующие три утверждения о решениях системы (4), обнаруживающие те их свойства, которые связывают их с аналитическими функциями комплексного переменного [1].

Лемма. Все компоненты $u_i(x)$, $i = 1, \dots, k$ решения $u(x)$ системы (4) являются гармоническими функциями.

Теорема (обобщенная теорема Коши). Если $u(x) \in C^1(D)$ – решение системы (4) в гладкой области D , то

$$\int_{\Gamma} M[v(y)]u(y)d\gamma_y = 0,$$

где $v(y) = (v_1(y), \dots, v_n(y))$ означает единичную внешнюю нормаль к поверхности $\Gamma = \partial D$ в точке $y \in \Gamma$.

Теорема (обобщенная формула Коши). *Справедливо интегральное представление решения системы (4)*

$$u(x) = \frac{1}{|S_1|} \int_D \frac{M^T(x-y)}{|x-y|^n} M\left(\frac{\partial}{\partial y}\right) u(y) d\tau_y + \frac{1}{|S_1|} \int_{\Gamma} \frac{M^T(y-x)}{|x-y|^n} M[v(y)]u(y) d\gamma_y, \quad (5)$$

где $x \in D$ и $|S_1|$ – площадь поверхности единичной сферы в пространстве \mathbb{R}^n . Поверхностный интеграл в правой части (5) дает решение системы (4) и поэтому является обобщением интеграла типа Коши.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саак Е.М. К теории многомерных эллиптических систем первого порядка, ДАН СССР, 222:1, 43-46 (1975) Saak E.M. On the theory of multidimensionalelliptic systems of first order. Dokl. Akad. Nauk SSSR.
2. Moisil Gr, Theodoresco N. Fonctions holomorphes dans l'espace, Mathematica. Cluj 1931; 5:142-159.
3. Бицадзе А.В. Основы теории аналитических функций комплексного переменного, М. Наука, 1969.
4. Fueter, R., Uber die analytische Darstellung der regularen Funktionen einer Quaternionenvariablen. Comment. Math. Helv., 8, 371-378 (1935).
5. Mikhlin S.G., Prossdorf S. Singular Integral Operators, Akademie-Verlag, Berlin, 1986.
6. Sprossig, W. Raumlches Analogon zum komplexen T-operator. Beitr. Anal. 12, 117-137 (1978).

Полунин Виктор Александрович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
г. Белгород.

к.ф.-м.н., доцент кафедры прикладной математики и компьютерного моделирования

E-mail: polunin@bsu.edu.ru

УДК 519.688 + 004.021

 К.А. РУБЦОВ, С.А. ЛАЗАРЕВ
 K.A. RUBTSOV, S.A. LAZAREV

О РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ ВЫЧИСЛЕНИЯ КВАДРАТНОГО ГИПЕРКОРНЯ 4-ГО ПОРЯДКА

ABOUT THE IMPLEMENTATION OF ALGORITHMS FOR COMPUTING THE SQUARE HYPERROOT OF THE 4TH ORDER

В данной работе авторы рассматривают вопрос реализации алгоритмов решения уравнения $x^x=a$, которое соответствует нахождению квадратного гиперкорня 4-го порядка взаимосвязанного с W -функцией Ламберта широко применяемой для решения практических задач. Предлагается рассматривать как инвариант относительно иерархии операций понятий среднего арифметического и среднего геометрического для разработки новых алгоритмов нахождения квадратного гиперкорня 4-го порядка. Авторами разработаны новые алгоритмы нахождения квадратного гиперкорня 4-го порядка в области вещественных чисел и проведен анализ их эффективности.

Ключевые слова: tetration, тетрация, сверхстепень, сверхкорень, гиперкорень, гипероперации, среднее значение, функция Ламберта.

In this paper, the authors consider the issue of implementing algorithms for solving the equation $x^x=a$, which corresponds to finding a square hyperroot of the 4th order, interconnected with the Lambert W -function, which is widely used to solve practical problems. It is proposed to consider as an invariant with respect to the hierarchy of operations the concepts of arithmetic mean and geometric mean for the development of new algorithms for finding a square hyperroot of the 4th order. The authors have developed new algorithms for finding the 4th order square hyperroot in the domain of real numbers and analyzed their effectiveness.

Keywords: tetration, tetration, superpower, superroot, hyperroot, hyperoperations, average value, Lambert function.

Квадратный гиперкорень 4-го порядка (сверхкорень, суперкорень) является решением уравнения $x^x = a$, где a - число, а x - искомое значение. Он непосредственно связан с W -функцией Ламберта, изучавшейся еще в 1779 году Леонардом Эйлером. Функция не имела самостоятельного названия до 1980-х годов и впервые была введена в систему компьютерной алгебры Maple, где для нее использовалось имя LambertW. Имя Иоганна Генриха Ламберта было выбрано для названия функции, так как Эйлер ссылался в своей работе на труды Ламберта. Обозначение функции как « W » впервые было предложено в 1925 г. Pólya and Szegő. В настоящее время W -функцию Ламберта применяют в комбинаторике при подсчете числа деревьев, а также при решении некоторых трансцендентных алгебраических уравнений и уравнения как $x^x = a$ [1]. Также эта функция может использоваться в общей теории относительности и в квантовой механике (квантовой гравитации) в нижних измерениях [2] и для решения частной задачи внутренних энергий квантовой механики [3], [4], решении задач теплопроводности [5] и нахождения точных решений параболических уравнений [6]. Квадратный гиперкорень 4-го порядка, как и гипероперации 4-го и 0-го ранга могут использоваться в различных практических приложениях [7], [8], [9], [10]. Рассмотрим способы вычисления W -функции Ламберта.

Решение $x^x = a$ уравнения сводится к нахождению обратной гипероперации типа сверхкорня, то есть квадратного гиперкорня 4-го порядка. В системах компьютерной математики, например Wolfram Mathematica, имеется встроенная функция “ProductLog” вычисляющая W -функцию Ламберта, которая взаимосвязана с квадратным гиперкорнем 4-го порядка [7]:

$$x^x = a \Rightarrow x = \ln(a) / \text{ProductLog}(\ln(a)) = x = \ln(a) / W(\ln(a)), \quad (1)$$

где $\ln(a)$ - натуральный логарифм.

W -функция Ламберта многозначная и не может быть выражена в терминах элементарных функций. Ее вычисляют путем разложения в ряд Тейлора, который сходится при $|x| < 1/e$, где e - основание натурального логарифма:

$$W(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-n)^{n-1}}{n!} \cdot x^n = x - x^2 + \frac{3}{2}x^3 - \frac{8}{3}x^4 + \frac{125}{24}x^5 - \dots \quad (2)$$

Имеется расширение W -функция Ламберта и в область комплексных чисел. Из формулы (1) легко записать W -функций Ламберта через квадратный гиперкорень 4-го порядка:

$$x^x = a = e^b \Rightarrow x = b/W(b) \Rightarrow W(b) = b/x \Rightarrow b/\text{ssqrt}(e^b), \quad (3)$$

где “ssqrt”-квадратный гиперкорень 4-го порядка, то есть $(\text{ssqrt}(x))^{\text{ssqrt}(x)} = x$.

Формулу (3) запишем для $W(x)$:

$$W(x) = x/\text{ssqrt}(e^x) \quad (4)$$

Квадратный гиперкорень 4-го порядка может быть интерпретирован как расширение понятия среднего значения с применением гиперопераций [7].

Среднее или медианное значение берет свое начало с учения древнегреческого математика Пифагора. В его учении медианное значение было средним числом в трехчленной последовательности чисел, которые находятся в равном отношении с соседними членами, что означает одинаковое расстояние. В дальнейшем понятие среднего значения было расширено до числовой характеристики множества чисел и функций заключенного между наименьшим и наибольшим их значениями. Общее описание средней величины дал в 1930 году А.Н. Колмогоров [11] для действительных чисел x_1, \dots, x_n :

$$M(x_1, \dots, x_n) = \varphi^{-1} \left(\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varphi(x_k) \right) = \varphi^{-1} \left(\frac{\varphi(x_1) + \dots + \varphi(x_n)}{n} \right), \quad (5)$$

где $\varphi(x)$ – непрерывная строго монотонная функция, а $\varphi^{-1}(x)$ – функция обратная $\varphi(x)$.

Формула (5) фактически описывает гомоморфизм среднего арифметического последовательности действительных чисел x_1, \dots, x_n с функцией отображения $\varphi(x)$.

Используя различные $\varphi(x)$ можно получить: $\varphi(x) = x$ – среднее арифметическое; $\varphi(x) = \log x$ – среднее геометрическое; $\varphi(x) = x^{-1}$ – среднее гармоническое; $\varphi(x) = x^2$ – среднее квадратическое и $\varphi(x) = x^a$, $a \neq 0$ – среднее степенное.

Среднее арифметическое можно использовать для вычисления квадратного корня \sqrt{a} любого положительного числа a при заданном начальном приближении x_0 [12]:

$$x_{n+1} = \frac{a + x_n^2}{2x_n}. \quad (6)$$

Формула (6) может быть получена из среднего геометрического [12]: $\sqrt{a} = \sqrt{x_n \cdot \frac{a}{x_n}}$, где в качестве приближенного значения для этого среднего геометрического взято среднее арифметическое чисел x_n и a/x_n :

$$x_{n+1} = \frac{x_n + a/x_n}{2} = \frac{a + x_n^2}{2x_n}. \quad (7)$$

Если в формуле (7) произвести равнозначную замену операций на вышестоящего ранга, то есть сложение заменить на умножение, a/x_n на логарифм, а деление на 2 квадратным корнем [13], [14], то получим формулу для вычисления квадратного гиперкорня 4-го порядка [15]:

$$x_{n+1} = \frac{x_n + a/x_n}{2} \rightarrow x_{n+1} = \sqrt{x_n \cdot \log_{x_n} a}. \quad (8)$$

Степень x^x не зависит от последовательности вычисления (сверху вниз или снизу вверх), то имеет место «локальная» коммутативность степени. В связи с этим в формуле (8) можно логарифм заменить корнем и получить новую формулу для вычисления квадратного гиперкорня 4-го порядка:

$$x_{n+1} = \sqrt{x_n \cdot \sqrt[n]{a}}. \quad (9)$$

Формулы (8) и (9) используют среднее геометрическое. Обе формулы можно записать, используя среднее арифметическое и дополнительно получить новые формулы вычисления квадратного гиперкорня 4-го порядка:

$$x_{n+1} = \frac{x_n + \log_{x_n} a}{2}, \quad (10)$$

$$x_{n+1} = \frac{x_n + \sqrt[n]{a}}{2}. \quad (11)$$

Квадратный гиперкорень 4-го порядка не может иметь аргумент меньше, чем $^{-e}\sqrt{e} \approx 0,6922$. В области значений аргумента $^{-e}\sqrt{e} < a < 1$ он имеет два вещественных значения. Для получения второго значения целесообразно использовать формулу при $x_0 = a/4$ [15]:

$$x_{n+1} = \frac{-\ln a}{\ln(1/x_n)}. \quad (12)$$

Например, для $a = 0,7$ формула (12) позволяет получить второе значение квадратного гиперкорня 4-го порядка с погрешностью $|x_{n+1} - x_n| \leq 10^{-10}$ равное 0,2809012247 за $n = 80$ циклов. Следует отметить, что для диапазона аргументов квадратного гиперкорня 4-го порядка $^{-e}\sqrt{e} < a < e^e$ существует еще одна формула, основанная на бесконечной тетрации [15]:

$$x_{n+1} = (1/a)^{-1/x_n} = \sqrt[n]{a}. \quad (13)$$

Формула (13) является следствием взаимосвязи квадратного сверхкорня 4-го порядка с W -функцией Ламберта по формуле (1), для которой имеется тождество [16]:

$$z^{z^{z^{\dots}}} = -\frac{W(-\ln z)}{\ln z}.$$

В таблице 1 приведены результаты количества циклов приближения для формул (8-11) и (13).

Таблица 1 – Количество циклов приближения n в зависимости от значения аргумента и используемого метода вычисления квадратного гиперкорня 4-го порядка, при $x_0 = \sqrt{a}$ и $|x_{n+1} - x_n| \leq 10^{-10}$.

a	$x_{n+1} = \sqrt{x_n \log_{x_n} a}$	$x_{n+1} = \sqrt{x_n \sqrt[n]{a}}$	$x_{n+1} = \frac{x_n + \log_{x_n} a}{2}$	$x_{n+1} = \frac{x_n + \sqrt[n]{a}}{2}$	$x_{n+1} = \sqrt[n]{a}$
0,7	–	157	–	157	76
1,5	–	21	–	21	19
1,6	1872	20	1788	20	21
1,7	147	19	145	19	23
1,8	82	19	82	19	25
1,9	60	18	59	18	26

Окончание табл. 1

2	48	18	48	18	28
3	21	14	21	14	43
4	1	1	1	1	1
10	8	9	9	9	274
15	6	6	6	6	12048
1000	16	20	18	20	–
10^6	21	31	26	39	–
10^9	23	54	33	61	–

Как видно из таблицы 1 для больших чисел эффективен метод по формуле (8). Метод по формулам (9) и (11) имеют сходимость на всей области определения квадратного гиперкорня 4-го порядка $\left]^{-e}\sqrt[e]{e}; +\infty\right[$. Формула (10) имеет аналогичную с (8) сходимость, но уступает при вычислении больших чисел. Формулу (13) можно рекомендовать для вычислений при $^{-e}\sqrt[e]{e} < a < 4$, так как при $a \in \left]4; e^e\right[$ сходимость уменьшается.

На основании вышеизложенного можно рекомендовать следующий алгоритм вычисления квадратного гиперкорня 4-го порядка:

$$\text{ssqrt}(a) = \begin{cases} x_{n+1} = x_n \sqrt[4]{a}, & a < e; \\ x_{n+1} = \sqrt{x_n \cdot \log_{x_n} a}, & a \geq e. \end{cases} \quad (14)$$

Учитывая два значения квадратного гиперкорня 4-го порядка для аргумента $^{-e}\sqrt[e]{e} < a < 1$ дополним формулу (14) формулой (12) и запишем заключительный результат:

$$\text{ssqrt}(a) = \begin{cases} \left\{ y_{n+1} = (-\ln a) / \ln(1/y_n), x_{n+1} = x_n \sqrt[4]{a} \right\}, & ^{-e}\sqrt[e]{e} < a < 1; \\ x_{n+1} = x_n \sqrt[4]{a}, & 1 \leq a < e; \\ x_{n+1} = \sqrt{x_n \cdot \log_{x_n} a}, & a \geq e. \end{cases} \quad (15)$$

В формуле (15) принимаем начальные приближения $x_0 = \sqrt[4]{a}$, $y_0 = a/4$.

Таким образом, с помощью формул (15) и (4) можно вычислить W -функцию Ламберта при решении практических задач.

В заключение следует отметить, что в последние годы область применения W -функции Ламберта постоянно расширяется [16]. Например, Vanwell и Jayakumar в 2000 г. показали, что W -функция Ламберта описывает соотношение между напряжением, током и сопротивлением в полупроводниковом диоде, а Paskel и Yuen в 2004 г. применили ее к математическому описанию баллистического снаряда при наличии сопротивления воздуха. Также были обнаружены приложения W -функции Ламберта в статистической механике, квантовой химии, комбинаторике, кинетике ферментов, физиологии зрения, разработке тонких пленок, гидрологии и анализе алгоритмов [16].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Corless et al. On the Lambert W function // Adv. Computational Maths, vol. 5, 1996, pp. 329-359.
2. Farrugia P.S., Mann R.B., Scott T.C. N-body Gravity and the Schrödinger Equation // Classical and Quantum Gravity journal, vol. 24, no. 18, 2007, pp. 4647-4659. DOI:10.1088/0264-9381/24/18/006

3. Scott T.C., Aubert-Frécon M., Grotendorst J. New Approach for the Electronic Energies of the Hydrogen Molecular Ion // Chem. Phys. Journal, vol. 324, 2006, pp. 323-338. DOI: 10.1016/j.chemphys.2005.10.031
4. Maignan A.; Scott T.C. Fleshing out the Generalized Lambert W Function // SIGSAM, vol. 50, no. 2, 2016, pp. 45-60. DOI:10.1145/2992274.2992275
5. Сергеев С.А., Спиридонов Ф.Ф. Применение функции Ламберта W в решении задачи теплопроводности // Архив научно-образовательного журнала АлтГТУ «Горизонты образования», выпуск 4, 2002. URL: <http://edu.secna.ru/media/f/LambertW.pdf> (дата обращения: 03.05.2023).
6. Косов А.А., Семенов Э.И. Функция Ламберта и точные решения нелинейных параболических уравнений // Известия вузов. Математика. №8, 2019, с. 13-20. URL: <https://kpfu.ru/portal/docs/F1959194461/02.pdf> (дата обращения: 03.05.2023).
7. Rubtsov K.A., Romerio G.F. Hyperoperations, for science and technology. New algorithmic tools for computer science // Lambert Academic Publishing, 2011, 185 p. (ISBN: 978-3-8443-1516-5)
8. Rubtsov K.A., Konstantinov I.S., Lazarev S.A., Polshchikov K.A., Kiselev V.E. Application of hyperoperations for engineering practice // International Conference on Recent Developments in Robotics, Embedded and Internet of Things (ICRDREIOT2020) 16-17 October 2020, Tamil Nadu, India, IOP Publishing IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Vol. 994, 2020, 012040, DOI:10.1088/1757-899X/994/1/012040
9. Рубцов К.А., Romerio G.F. Гипероперации в математическом моделировании и научных исследованиях // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ-25: сб. трудов XXV Междунар. науч. конф.: Т. 1. Секция 1,2 – Волгоград : Волгогр. гос. техн. ун-т, 2012; Харьков : Национ. техн. ун-т «ХПИ», 2012, с. 67-70.
10. Rubtsov K., Romerio G.F. Homomorphism, Isomorphism, Tetration and Zeration applications in Numerical Methods // 17 Mathematics in Science and Technology. International Congress of Mathematicians: Abstracts, Short Communications, Posters. ICM-2014, Seoul, 2014, pp. 703-704.
11. Колмогоров А. Н. Математика и механика // Избранные труды, М.: Наука, 1985, Т. 1., с. 136-138.
12. Виленкин Н.Я. Метод последовательных приближений // М: Наука, 1968, 108 с.
13. Рубцов К.А. Алгоритмизация ингредиентов во множестве алгебраических операций // Кибернетика, № 3, 1989, с. 111-112.
14. Рубцов, К.А. Новые математические объекты // Белгород: БелГТАСМ Киев: НПП ИНФОРМАВТОСИМ, 1996, 251 с.
15. Рубцов К.А., Romerio G.F. Алгоритмизация гипероператоров 4-го ранга и их приложения // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ-26: сб. трудов XXVI Междунар. науч. конф.: в 2 ч. Ч. 2. – Ангарск : Ангарск. гос. технол. акад.; Иркутск : Иркут. гос. ун-т, 2013, с. 170.
16. Lambert W-Function // Wolfram MathWorld. URL: <https://mathworld.wolfram.com/LambertW-Function.html> (дата обращения: 04.05.2023).

Рубцов Константин Анатольевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
К.т.н., заведующий учебно-научной лабораторией информационно-измерительных и управляющих комплексов и систем
Тел.: +7-904-088-08-48
E-mail: rubtsov@bsu.edu.ru

Лазарев Сергей Александрович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
К.э.н., заведующий лабораторией прикладного системного анализа и информационных технологий
Тел.: +7-915-527-36-65
E-mail: lazarev_s@bsu.edu.ru

УДК 004.896

С.М. СИТНИК, Т. РАИН
S.M. SITNIK, T. RAIN

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МАНИПУЛЯТОРА С ПЯТЬЮ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

DEVELOPMENT OF PROGRAM MODULE FOR THE SIMULATION OF A 5-DOF MANIPULATOR

В данной статье представлена методология разработки программного модуля для имитационного моделирования манипулятора. Манипулятор с пятью степенями свободы был использован для демонстрации предлагаемой методологии. Сначала была создана САПР-модель манипулятора, а затем проведено кинематическое и динамическое моделирование манипулятора на основе численных методов и метода мягких вычислений. Разработанное программное обеспечение позволяет выполнять кинематическое и динамическое моделирование манипулятора.

Ключевые слова: компьютерное моделирование; моделирование кинематики; моделирование динамики; имитационное моделирование.

This paper presents a method to develop a software module for the simulation of a manipulator. An example of 5-DOF manipulator is used to demonstrate the proposed methodology. First the CAD model of the manipulator was created and then the kinematic and dynamic modeling of the manipulator was performed based on numerical methods and soft computing method. The developed software has capability to perform the kinematic and dynamic modeling of the manipulator.

Keywords: computer modeling; kinematics modeling; dynamics modeling; simulation.

Целью разработки программного модуля является создание удобного графического интерфейса для имитационного моделирования манипулятора, чтобы использоваться в исследовании предлагаемых методов моделирования кинематики и динамики манипулятора.

Начиная с физической модели экспериментального манипулятора с пятью степенями свободы (рисунок 1), САПР-программа SolidWorks использовалась для создания виртуальной модели (3D-деталь) манипулятора. Другая информация, такая как цвета, материал и текстура манипулятора, может быть применена к модели для повышения реалистичности. Геометрические параметры экспериментального манипулятора указаны в таблице 1. На рисунке 2 представлены разработанные 3D-детали звеньев экспериментального манипулятора.

Таблица 1 – Геометрические параметры экспериментального манипулятора

Звено	Высота (м)	Радиус (м)	Масса (кг)
1	0,071	0,06	0,102
2	0,295	0,035	0,569
3	0,205	0,035	0,310
4	0,091	0,035	0,123
5	0,08	0,05	0,142

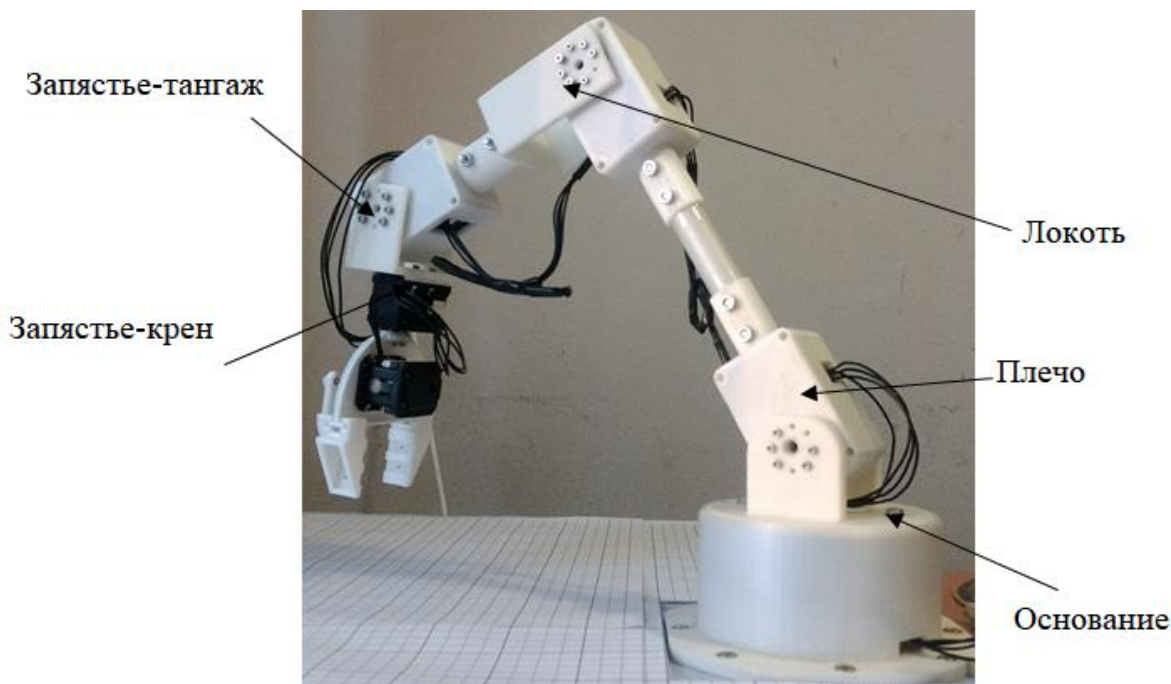


Рисунок 1 – Манипулятор с пятью степенями свободы

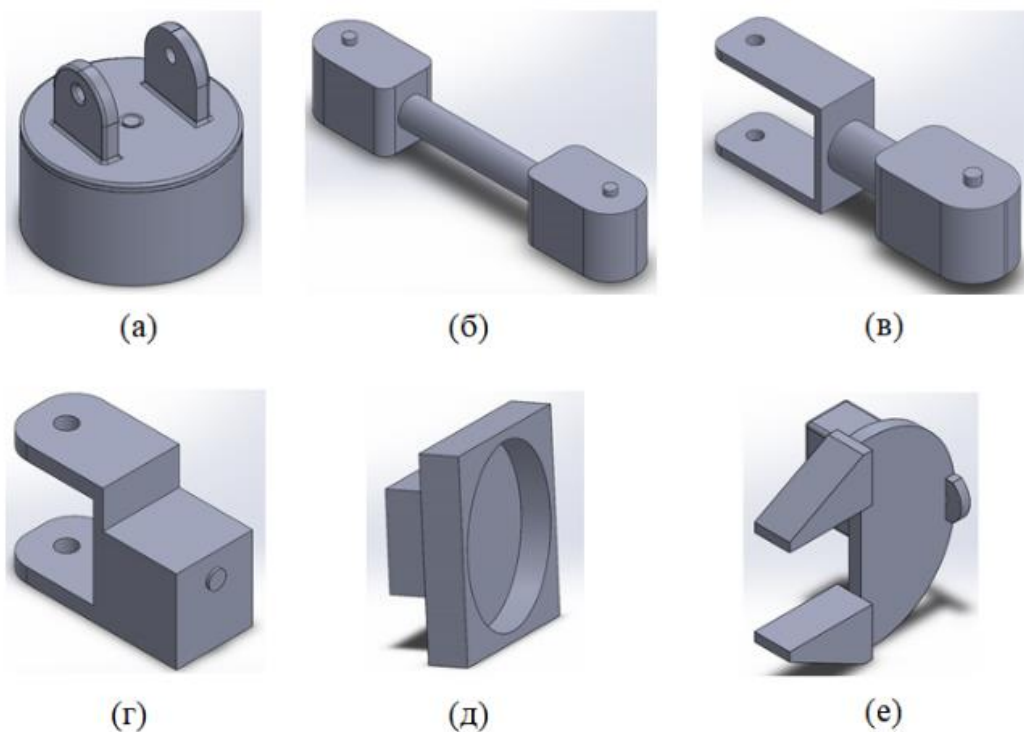


Рисунок 2 – 3D-деталей манипулятора с пятью степенями свободы

Затем системы координат прикреплены к каждой 3D-детали манипулятора. Созданные 3D-детали были собраны в один файл «сборка» (рисунок 3). После этого файл «сборка» был преобразован в файл «URDF» (Unified Robot Description Format) для создания имитационной модели. URDF – это файл в формате XML (расширяемый язык разметки), который описывает манипулятор, подробно описывая его звено, соединения, размеры и так далее. Затем файл «URDF» был импортирован в среду MATLAB, чтобы соединиться с математической моделью манипулятора (рисунок 4).

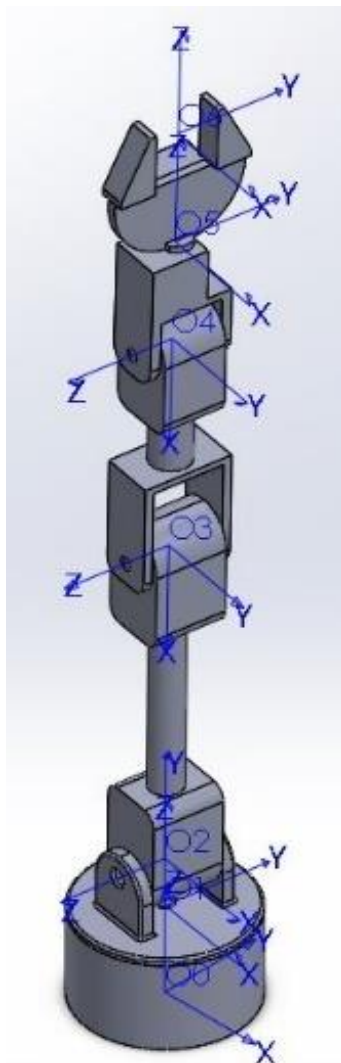


Рисунок 3 – 3-D модель сборки манипулятора с пятью степенями свободы

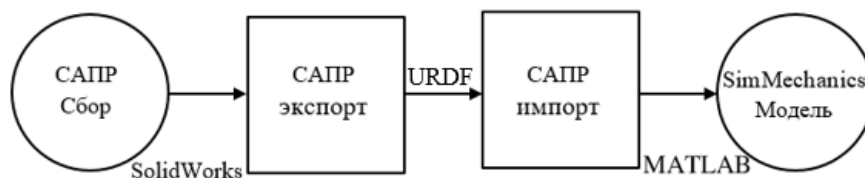


Рисунок 4 – Процесс преобразования файл «сборка» в файл «URDF»

Математическая модель экспериментального манипулятора создана в среде MATLAB. Кинематическое моделирование и динамическое моделирование манипулятора выполнены с использованием метода Левенберга-Марквардта, метода Ньютона-Эйлера и метода адаптивная нейронечеткая система вывода (АНСВ) [1].

Графический пользовательский интерфейс (GUI) был разработан с использованием инструмента MATLAB-GUIDE, чтобы упростить выполнение экспериментальной работы и лучше понять поведения разработанных кинематической и динамической моделей манипулятора. На рисунке 4 представлено основное окно программного модуля. В группе меню существуют три кнопки режимов: Прямая задача кинематики «Forward Kinematics»; Обратная задача кинематики «Inverse Kinematics»; Траектория и динамика «Trajectory & Dynamics».

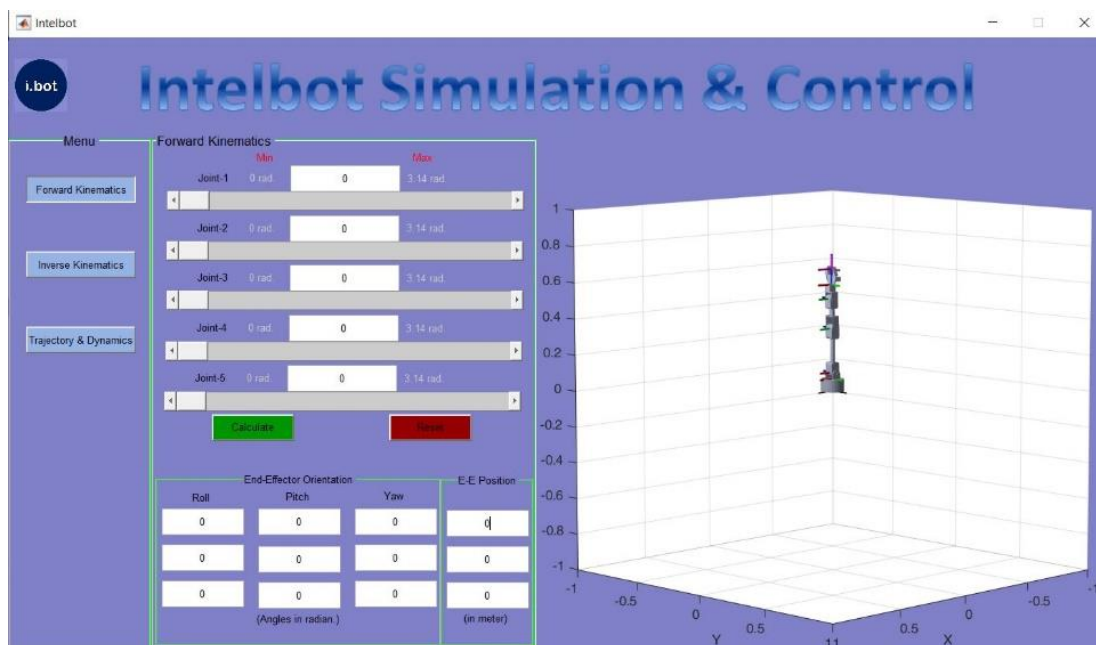


Рисунок 5 – Основное окно программного модуля

В режиме прямой задачи кинематики положения и ориентации схвата вычисляются при заданных значениях углов сочленений манипулятора. Сначала пользователю нужно определить значения углов сочленений манипулятора ($\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5$). Пользователь может вводить значения углов непосредственно в текстовые поля или может вводить значения, перемещая ползунки (рисунок 6). При изменении значений углов имитационная модель манипулятора в 3D-пространстве будет перемещаться соответственно с значениями углов в режиме реального времени.

Далее при нажатии кнопки «Calculate» положение (p_x, p_y, p_z) и ориентацию ($n_x, n_y, n_z, o_x, o_y, o_z, a_x, a_y, a_z$) схвата будут вычисляться на основе заданных значений углов сочленений манипулятора и показываться в текстовых полях нижней центральной части окна программного модуля (см. рисунок 6). Блок-схема алгоритма программы прямой задачи кинематики показана на рисунке 7 [2].

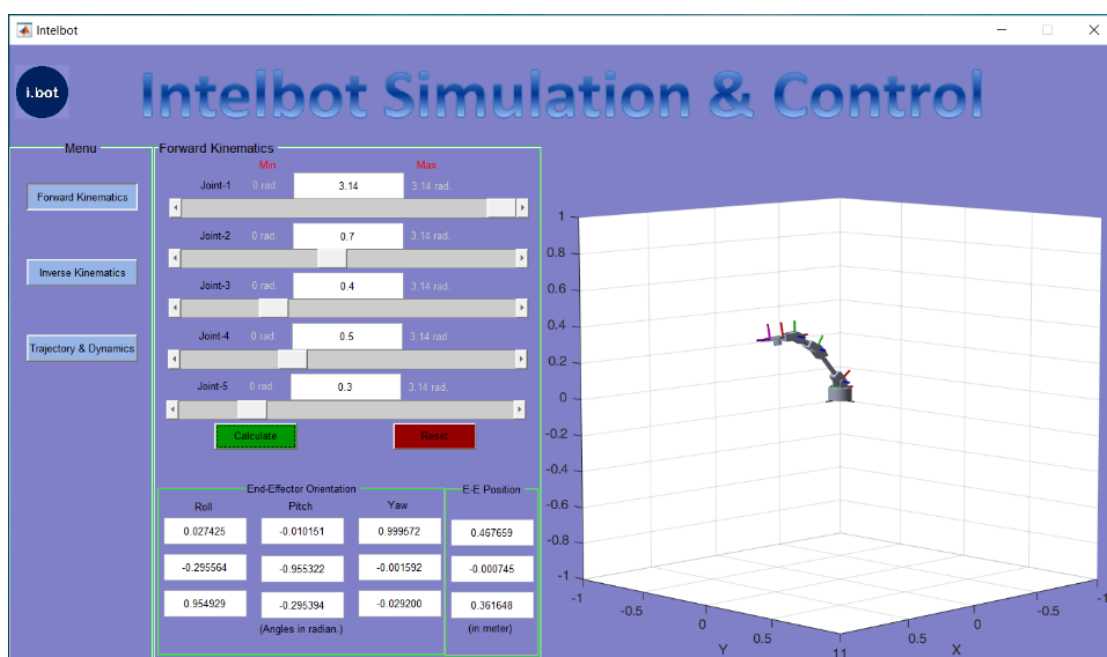


Рисунок 6 – Окно программного модуля в режиме прямой кинематики

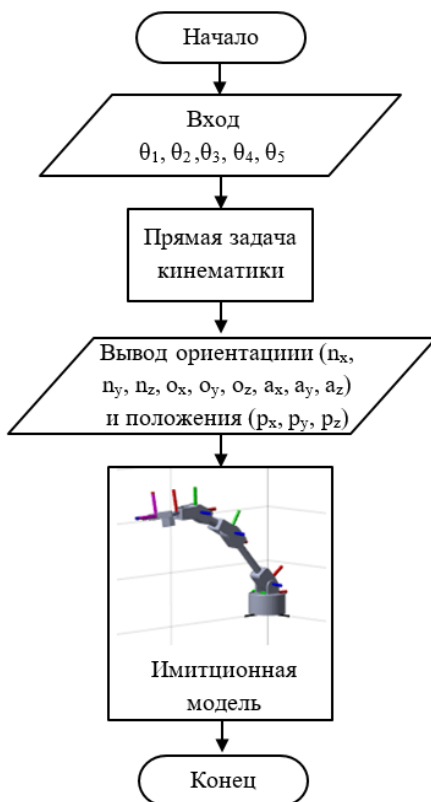


Рисунок 7 – Блок-схема алгоритма программы прямой задачи кинематики

В режиме обратной задачи кинематики вычисляются значения углов сочленений, которые позволяют схвату манипулятора достичь желаемых положения и ориентаций. Желаемые положения и ориентации схвата могут быть автоматически введенны, исходя из результата режима прямой кинематики или пользователь может вводить значения желаемых положения и ориентации в текстовые поля верхней центральной части окна программного модуля (рисунок 8).

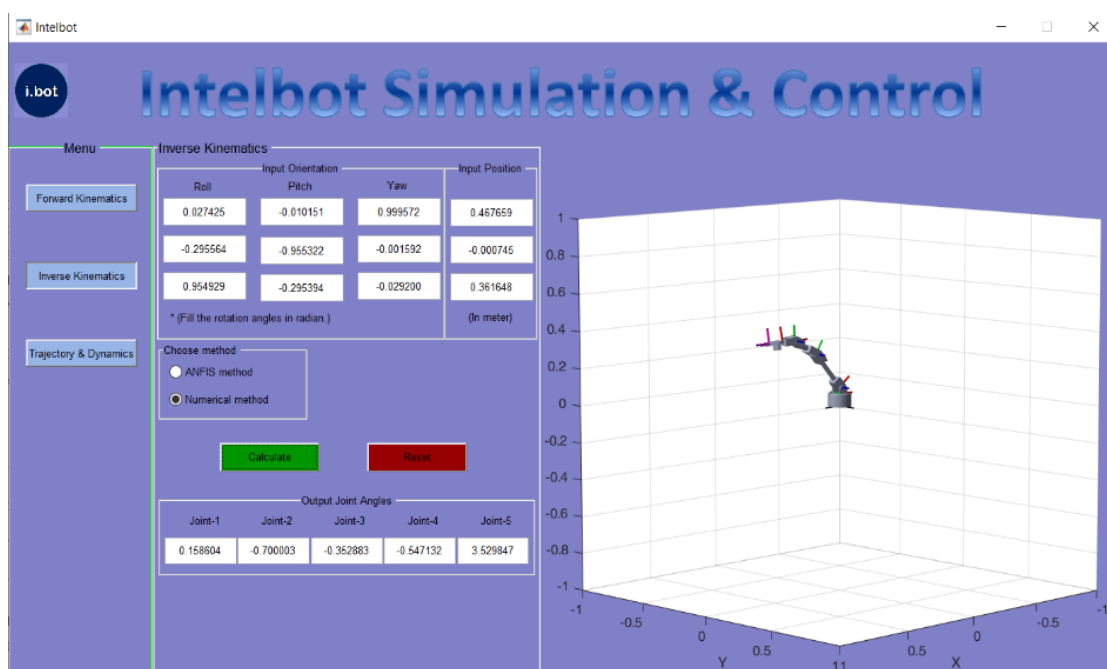


Рисунок 8 – Окно программного модуля в режиме обратной кинематики

Пользователю предлагается выбрать метод расчета: метод АНСВ или численного метода. Далее, в зависимости от выбора метода расчета значения углов сочленений будут вычисляться. Блок-схема алгоритма программы обратной задачи кинематики представлена на рисунке 9 [3].

В режиме обратной задачи динамики вычисляются значения требуемых крутящих моментов, которые нужны для обеспечения движения звеньев манипулятора по заданной траектории. Для этого сначала нужно настроить траекторию (положения, скорости и ускорения) сочленений звеньев с помощью программы формирования траектории.

Затем пользователю нужно выбрать метод расчета: метода АНСВ или численный метод. Далее при нажатии кнопки «Calculate» значения требуемых крутящих моментов будут вычисляться по выбранному методу (рисунок 10). На рисунке 11 представлена блок-схема алгоритма программы обратной задачи динамики [4].

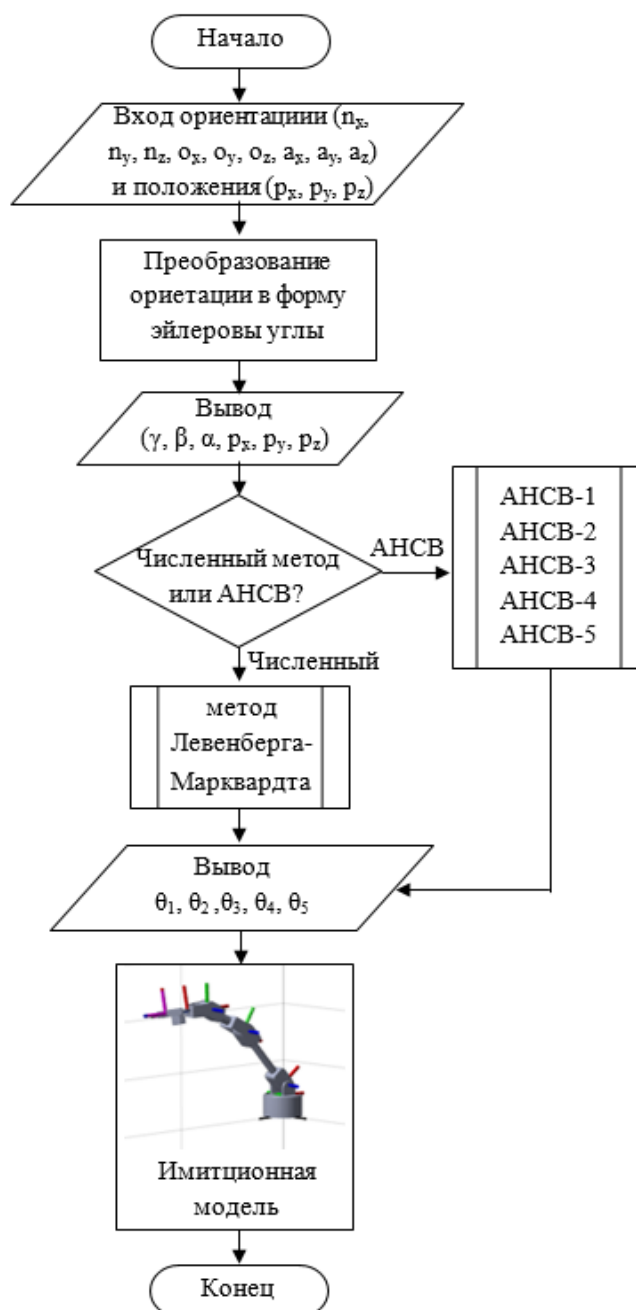


Рисунок 9 – Блок-схема алгоритма программы обратной задачи кинематики

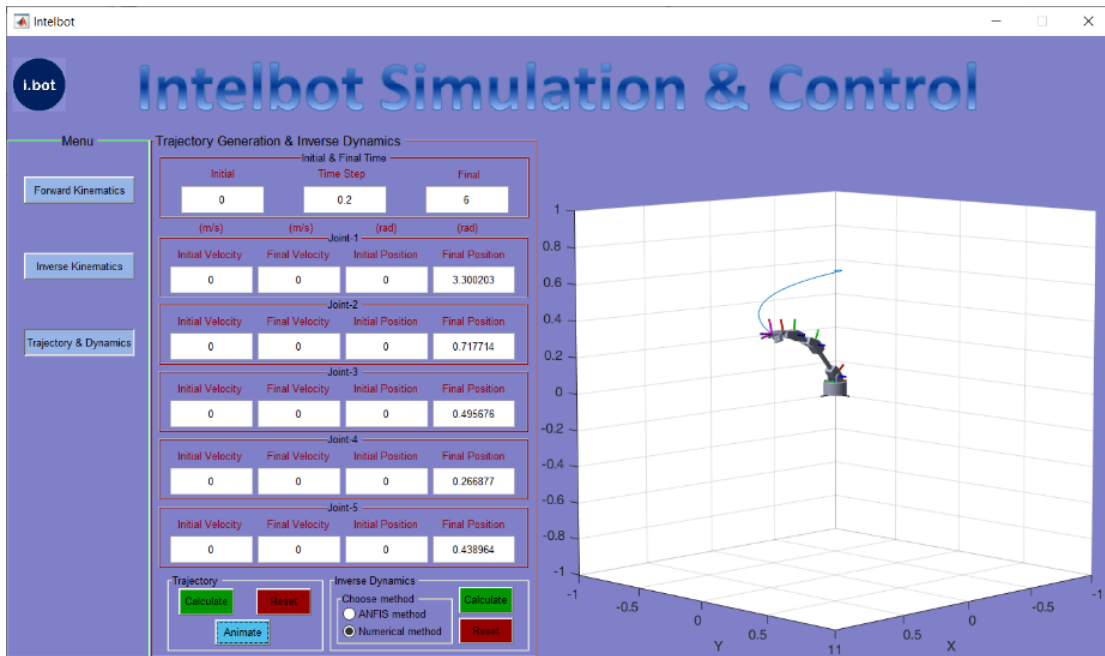


Рисунок 10 – Окно программного модуля в режиме обратной динамики

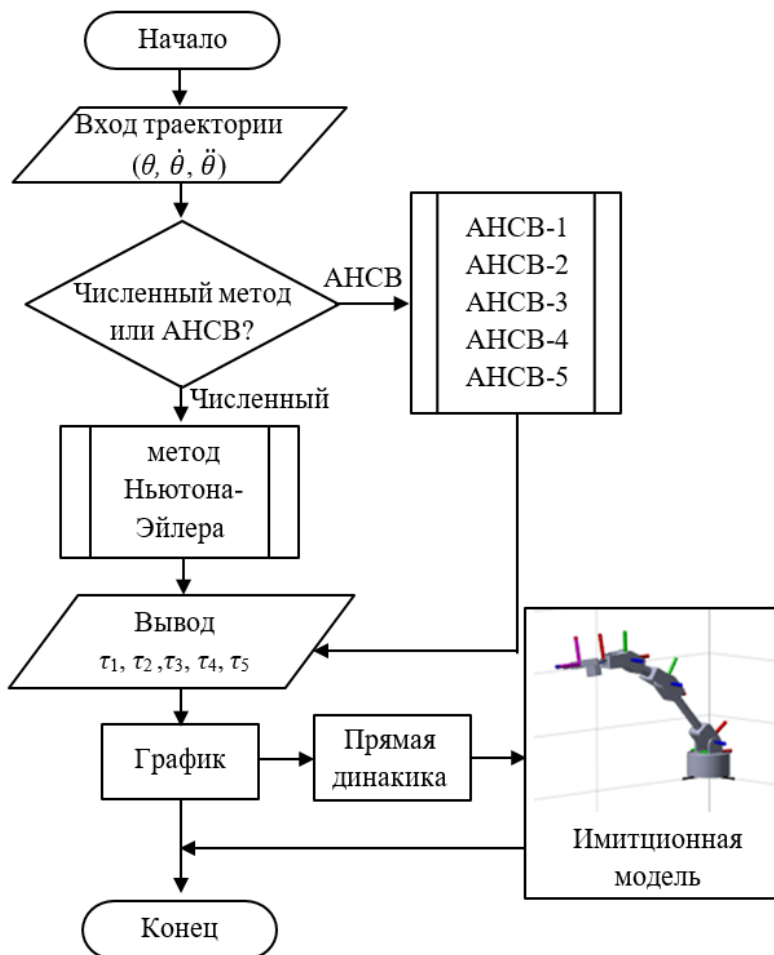


Рисунок 11 – Блок-схема алгоритма программы обратной задачи динамики

В виртуальной среде можно отобразить траекторию движения схвата манипулятора, который перемещается из-за получаемых крутящих моментов (см. рисунок 10). А также получаемые крутящие моменты и траектории каждого сочленения звена манипулятора могут отобразиться с помощью графиков.

В качестве практического применения, результаты работы целесообразно использовать для разработки программного средства тренажёр-имитатора робота-манипулятора обезвреживания взрывоопасных предметов и для разработки системы управления манипулятором. Также результаты работы могут быть применены в исследовательских программах и учебном процессе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ту Раин. Моделирование динамики манипулятора с использованием адаптивной нейронечеткой системы вывода. / Ту Раин, Ян Найнг Со // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2019 – Том 7, №4 – С. 1-14.
2. Ту Раин. Разработка программного модуля для моделирования кинематики и динамики манипулятора. / Ту Раин // Прикладная математика и физика, 2023, № 1, С. 70 - 83.
3. С.М. Ситник. Эффективная методология сбора данных для обучения обратной динамической модели манипулятора на основе аналитического метода – I./ С.М. Ситник, Ту Раин // Челябинский физико-математический журнал – 2023 – Том 8, вып. 1, – С. 140 - 145.
4. Ту Раин. Эффективная методология сбора данных для обучения обратной динамической модели манипулятора на основе аналитического метода – II. / Ту Раин // Челябинский физико-математический журнал – 2023 – Том 8, вып. 1, – С. 146 - 151.

Ситник Сергей Михайлович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
д. ф.-м. н, Профессор кафедры «Прикладная математика и компьютерное моделирование»
Тел.: +79102437771
E-mail: sitnik@bsu.edu.ru

Ту Раин

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
научный соискатель кафедры «Математическое и программное обеспечение информационных систем»
Тел.: +79801880975
E-mail: thurein.48@gmail.com

УДК 004.896

С.М. СИТНИК, Т. РАИН
S.M. SITNIK, T. RAIN**СОЗДАНИЕ ОБУЧАЮЩИХ НАБОРОВ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ
ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ
И ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛЕЙ МАНИПУЛЯТОРА****CREATION OF TRAINING DATASETS BASED ON NUMERICAL
METHODS FOR LEARNING THE KINEMATIC AND DYNAMIC
MODELS OF A MANIPULATOR**

В данной статье авторы представляют метод создания обучающих наборов данных чтобы использовать при обучении моделей обратной кинематики и динамики манипулятора с помощью методов мягких вычислений. Предлагаемая методология состоит из метода Денавита-Хартенберга для генерации обучающего набора данных для обратной задачи кинематики и метода Ньютона-Эйлера для генерации обучающего набора данных для обратной задачи динамики манипулятора. Метод кубического полинома и метод Левенберга-Марквардта также используются для построения траекторий и нахождения требуемых значений положения сочленений манипулятора для достижения целевых точек в процессе генерации данных.

Ключевые слова: генерация данных; обратная кинематика; обратная динамика; обучение модели; метод Денавита-Хартенберга; Метод Левенберга-Марквардта; метод Ньютона-Эйлера; манипулятор.

In this article the authors present a method for creation of training datasets for learning the inverse kinematic and dynamic models of a manipulator using soft-computing methods. The proposed methodology consists of Denavit-Hartenberg method for generation of training dataset for inverse kinematics and Newton-Euler method for generation of training dataset for inverse dynamics of a manipulator. Cubic polynomial method and Levenberg-Marquardt method are also used for trajectory generation and finding the required joint positions values of the manipulator to reach the goal points in data generation process.

Keywords: data generation; inverse kinematics; inverse dynamics; model learning; Denavit-Hartenberg method; Levenberg-Marquardt method; Newton-Euler method; manipulator.

Решения обратной задачи кинематики и динамики манипулятора (робот-манипулятор) имеют решающее значение для моделирования и управления манипулятором. Недавно были разработаны методы искусственного интеллекта для решения обратной задачи кинематики и динамики манипуляторов. Общие методы искусственного интеллекта требуют большого количества данных для выполнения процесса обучения и аппроксимации, особенно при решении задач высокой размерности. При сборе данных для обучения также требуется дополнительный сенсорный интерфейс для получения данных о шарнирах звеньев (положения, скорости, ускорения и крутящие моменты) манипулятора. В результате современные приложения искусственного интеллекта либо дороги с точки зрения затрат, вычислений и сбора данных, либо ограничены локальным приближением для конкретной задачи или процедуры. В этой статье мы предлагаем процедуры создания обучающих наборов данных для обучения моделей кинематики и динамики манипулятора [1].

Процедура создания обучающих наборов данных для обучения модели обратной кинематики представлена на рисунке 1. В процедуре уравнения прямой задачи кинематики были получены с использованием метода Денавита-Хартенберга(Д-Х).

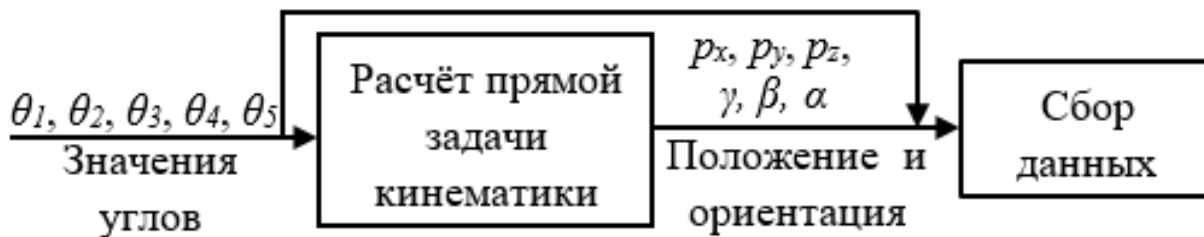


Рисунок 1 – Процедура создания обучающих наборов данных для обучения модели обратной кинематики манипулятора

Метод Денавита–Хартенберга

Метод Д-Х позволяет снизить число математических операций для получения кинематического описания манипулятора. На рисунке 2 показан выбор системы координат и параметры Д-Х для экспериментального манипулятора с пятью степенями свободы.

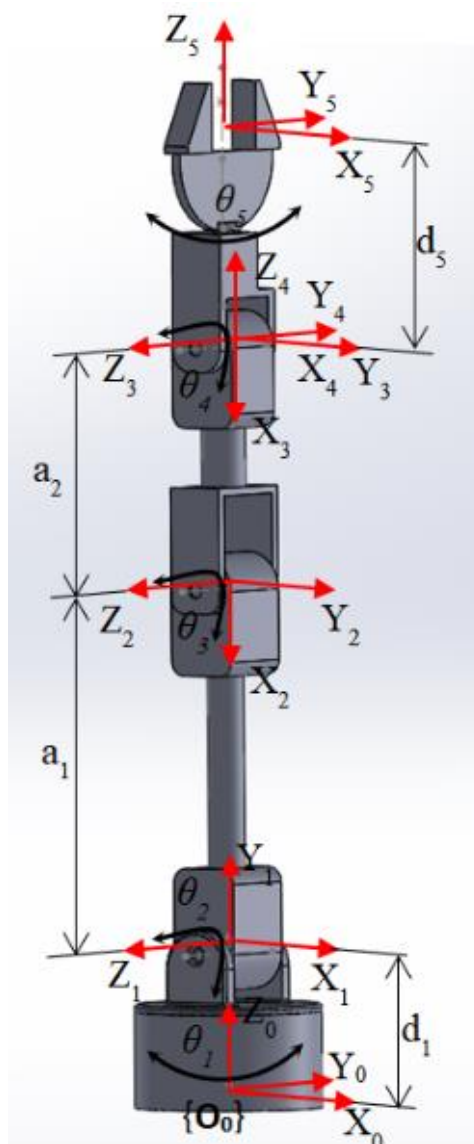


Рисунок 2 – Системы координат и параметры Д-Х экспериментального манипулятора с пятью степенями свободы

Метод Д-Х использует четыре параметра: a_{i-1} – расстояние между осями Z_{i-1} и Z_i , которое измеряется по оси X_{i-1} , α_{i-1} – угол между Z_{i-1} и Z_i , измеренный в плоскости $X_i Z_i$, d_i – расстояние от оси X_{i-1} до X_i , измеренное по оси Z_i , θ_i – угол относительно поворота. Значения соответствующих параметров Д-Х указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры Д-Х экспериментального манипулятора с пятью степенями свободы

Звено	a_{i-1} (м)	α_{i-1} (рад)	d (м)	θ (рад)
1	0	$\pi/2$	0,104	θ_1
2	0,246	0	0	θ_2
3	0,163	0	0	θ_3
4	0	$-\pi/2$	0	θ_4
5	0	0	0,165	θ_5

По методу Д-Х общая однородная матрица преобразования T_i^{i-1} для одного звена может быть получена следующим образом:

$$T_i^{i-1} = R_z(\theta_i) D_z(d_i) D_x(a_{i-1}) R_x(\alpha_{i-1}) \quad (1)$$

$$= \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & 0 & 0 \\ s\theta_i & c\theta_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_{i-1} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1} & 0 \\ 0 & s\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i c\alpha_{i-1} & s\theta_i s\alpha_{i-1} & a_{i-1} c\theta_i \\ s\theta_i & c\theta_i c\alpha_{i-1} & -c\theta_i s\alpha_{i-1} & a_{i-1} s\theta_i \\ 0 & s\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

где R_x и R_z – матрицы поворота; D_x и D_z – матрицы сдвига (смещения); $c\theta_i$ и $s\theta_i$ – стенографии $\cos\theta_i$ и $\sin\theta_i$ соответственно. Решение задачи прямой кинематики для определения положения схвата манипулятора по отношению к базовой системе координат может быть получено путем переумножения всех матриц T_i^{i-1} .

$$T_5^0 = T_1^0 T_2^1 T_3^2 T_4^3 T_5^4 = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & p_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & p_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Выполняя необходимые вычисления, получим ориентацию схвата манипулятора;

$$r_{11} = s_1 s_5 - c_1 c_2 c_5 s_3 s_4 - c_3 c_4 c_5 + s_2 c_3 c_5 s_4 + c_4 c_5 s_3;$$

$$r_{12} = c_5 s_1 + c_1 c_2 c_3 s_4 - c_4 s_5 + s_3 c_4 + s_4 s_5 + s_2 c_3 c_4 + s_4 s_5 - s_3 s_4 - c_4 s_5;$$

$$r_{13} = c_1 s_2 c_3 c_4 - s_3 s_4 + c_2 c_3 s_4 + c_4 s_3; r_{21} = -s_1 c_2 c_5 s_3 s_4 - c_3 c_4 c_5 + s_2 c_3 c_5 s_4 + c_4 c_5 s_3 - c_1 s_5;$$

$$r_{22} = s_1 c_2 c_3 s_4 - c_4 s_5 + s_3 c_4 + s_4 s_5 + s_2 c_3 c_4 + s_4 s_5 - s_3 s_4 - c_4 s_5 - c_1 c_5;$$

$$r_{23} = s_1 s_2 c_3 c_4 - s_3 s_4 + c_2 c_3 s_4 + c_4 s_3; r_{31} = c_2 c_3 c_5 s_4 + c_4 c_5 s_3 - s_2 c_5 s_3 s_4 - c_3 c_4 c_5;$$

$$r_{32} = s_2 c_3 s_4 - c_4 s_5 + s_3 c_4 + s_4 s_5 - c_2 c_3 c_4 + s_4 s_5 - s_3 s_4 - c_4 s_5; r_{33} = s_2 c_3 s_4 + c_4 s_3 - c_2 c_3 c_4 - s_3 s_4;$$

А положение схвата;

$$p_x = c_1 c_2 a_2 c_3 + d_5 c_3 s_4 + d_5 c_4 s_3 + a_1 c_2 - s_2 a_2 s_3 - d_5 c_3 c_4 + d_5 s_3 s_4 ;$$

$$p_y = s_1 c_2 a_2 c_3 + d_5 c_3 s_4 + d_5 c_4 s_3 + a_1 c_2 - s_2 a_2 s_3 - d_5 c_3 c_4 + d_5 s_3 s_4$$

$$p_z = d_1 + s_2 a_2 c_3 + d_5 c_3 s_4 + d_5 c_4 s_3 + c_2 a_2 s_3 - d_5 c_3 c_4 + d_5 s_3 s_4 + a_1 s_2.$$

Чтобы уменьшить количество входных значений и объем обучающих наборов данных, полученные значения ориентаций ($r_{11}, r_{12}, r_{13}, r_{21}, r_{22}, r_{23}, r_{31}, r_{32}, r_{33}$) были преобразованы из формы матриц поворота в форму эйлеровы углы (γ, β, α).

Учитывая ограничения углов относительно поворота сочленений звеньев ($-\pi/2 \leq \theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5 \leq \pi/2$ рад.) с интервалом 0,02 рад. и применяя метод Д-Х была решены прямые задачи кинематики манипулятора в среде MATLAB (Рисунок 3) и были получены пять обучающих наборов ($(p_x, p_y, p_z, \gamma, \beta, \alpha, \theta_1)$, ($p_x, p_y, p_z, \gamma, \beta, \alpha, \theta_2$), ($p_x, p_y, p_z, \gamma, \beta, \alpha, \theta_3$), ($p_x, p_y, p_z, \gamma, \beta, \alpha, \theta_4$) и ($p_x, p_y, p_z, \gamma, \beta, \alpha, \theta_5$)). В каждом обучающем наборе, значения координаты (p_x, p_y, p_z), задающие положение и значения (γ, β, α), задающие ориентацию схвата манипулятора работают как входные значения, а значения углов относительно поворота звеньев ($\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5$) работают как выходные значения. Каждый обучающий набор составляет 1037032 векторов входных и соответствующих выходных значений. На рисунке 4 представлена часть получаемых обучающих наборов данных для обучения обратной модели кинематики манипулятора.

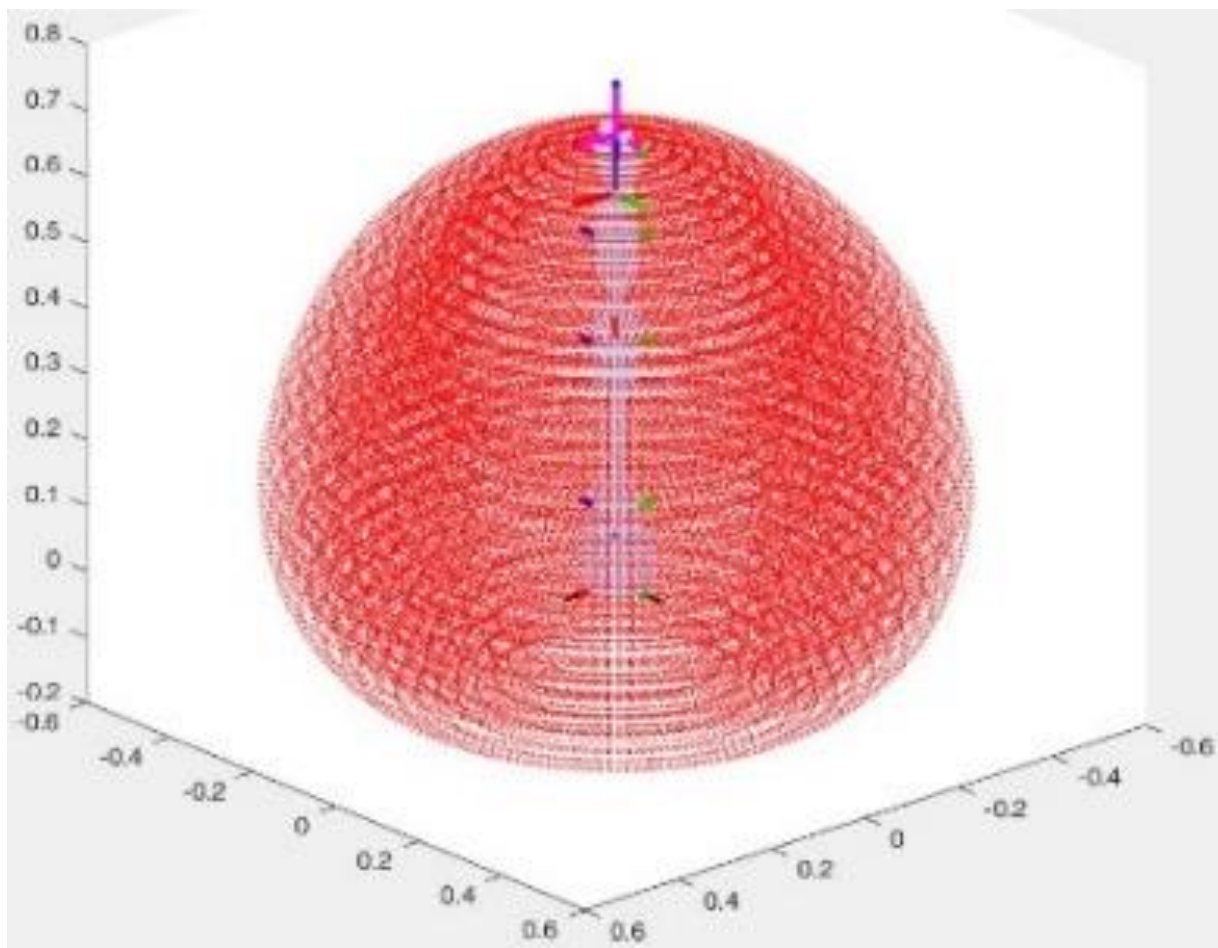


Рисунок 3 – Рабочая зона манипулятора

	1	2	3	4	5	6	7
1	0.0076	-0.0012	0.6769	-0.2485	-1.8602e-05	1.6604e-06	0
2	0.0077	-8.0238e-05	0.6769	-0.0985	-1.8602e-05	1.6604e-06	0.1500
3	0.0076	0.0011	0.6769	0.0515	-1.8602e-05	1.6604e-06	0.3000
4	0.0074	0.0022	0.6769	0.2015	-1.8602e-05	1.6604e-06	0.4500
5	0.0070	0.0033	0.6769	0.3515	-1.8602e-05	1.6604e-06	0.6000
6	0.0064	0.0043	0.6769	0.5015	-1.8602e-05	1.6604e-06	0.7500

Рисунок 4 – Часть получаемых обучающих наборов данных для обучения модели обратной кинематики манипулятора

Процедура создания обучающих наборов данных для обучения модели обратной динамики представлена на рисунке 5. В процедуре использовались метод Левенберга–Марквардта (ЛМ) чтобы найти требуемых углов поворота сочленений звеньев для достижения целевых точек, метод кубических полиномов для построения траектории между двумя точками и метод Ньютона–Эйлера для нахождения требуемого крутящего момента.

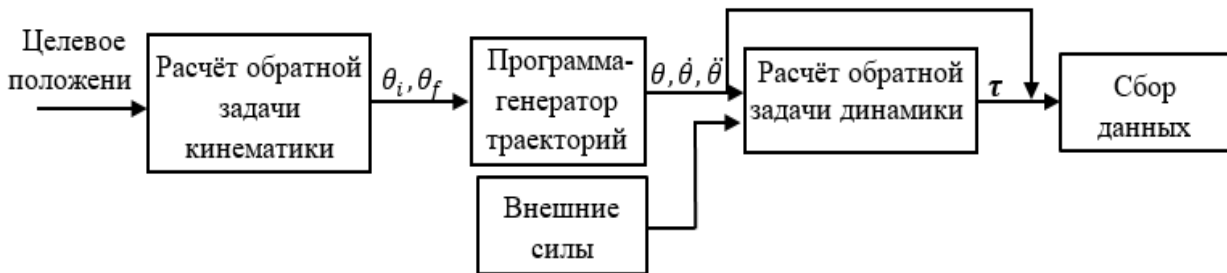


Рисунок 5 – Процедура создания обучающих наборов данных для обучения модели обратной динамики манипулятора

Метод Левенберга–Марквардта

Требуемые углы поворота звеньев для достижения целевых точек представлены набором ограничений, которые накладываются на вектор обобщенных координат по формуле:

$$\theta = (\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5)^T. \quad (3)$$

Тогда ограничение по положению схвата можно записать как:

$$p_i(\theta) = p_i^d, \quad (4)$$

где $p \in \mathbb{R}^3$ – текущее положение схвата; $p^d \in \mathbb{R}^3$ – целевое положение схвата. Для ограничения ориентации

$$R_i(\theta) = R_i^d, \quad (5)$$

где $R_i \in SO(3)$ – ориентация схвата; $R_i^d \in SO(3)$ – целевая ориентация схвата. В обоих случаях вектор невязок $e_i(\theta)$ может быть определен как:

$$e_i(\theta) = \begin{cases} p_i^d - p_i(\theta) \\ \alpha(R_i^d R_i(\theta)^T) \end{cases}, \quad (6)$$

где $\alpha(R) \in \mathbb{R}^3$ для произвольного $R \in SO(3)$ – эквивалентный вектор угла-оси. Решение обратной задачи кинематики сводится к решению следующего нелинейного уравнения:

$$e(\theta) = 0. \quad (7)$$

Алгоритм метода Левенберга-Марквардта включает следующие этапы:

Шаг 1. Инициализировать значения, которые используются для настройки коэффициента демпфирования: параметров θ , весовой матрицы W_E , параметра λ , а также λ_{up} и λ_{down} .

Шаг 2. Проверять счетчику итераций: если счетчик итераций не достиг максимального количества шагов, то переход к шагу 3, если достиг, то переход к концу алгоритма.

Шаг 3. Найти матрицу преобразования T_i и оценку вектора невязок e .

Шаг 4. Если $C < tol$, то переход к концу; если $C > tol$, то переход к шагу 5.

Шаг 5. Найти матрицу Якобиана J , $g_k = JW_E J + \lambda I$, функцию стоимости, $\nabla C = J^T W_E e$ и

$$C = \frac{1}{2} e^2.$$

Шаг 6. Найти новое значение $\theta_{new} = \theta + g^{-1} \nabla C$.

Шаг 7. Найти новый вектор невязок e_{new} в точке, заданной θ_{new} и функцию оценки в новой точке $C_{new} = \frac{1}{2} e_{new}^2$.

Шаг 8. Если $C_{new} > C$, то отклонить шаг, сохранить старый параметр предположения θ и старые невязки e , и настроить $\lambda = \lambda \times \lambda_{up}$ при переход к шагу 2

Шаг 9. Если $C_{new} < C$, то принимать шаг $\theta = \theta_{new}$ new, и установить $e = e_{new}$ и $\lambda = \lambda / \lambda_{down}$ и переход к шагу 2.

После расчетов требуемых углов поворота сочленений звеньев полиномиальные функции 3-й степени были использованы для генерации траектории:

$$\theta(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3, \quad (8)$$

$$\dot{\theta}(t) = a_1 + 2a_2 t + 3a_3 t^2, \quad (9)$$

$$\ddot{\theta}(t) = 2a_2 + 6a_3 t. \quad (10)$$

Граничные условия для траектории показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры Д-Х экспериментального манипулятора с пятью степенями свободы

Начальная скорость $\theta(t_0)$	0 рад/с
Окончательная скорость $\dot{\theta}(t_f)$	0 рад/с
Начальный момент времени (t_0)	0 с
Конечный момент времени (t_f)	4 с
Временной шаг	0.2 с

Метод Ньютона – Эйлера

Алгоритм Ньютона-Эйлера состоит из прямой рекурсии и обратной рекурсии.

Прямая рекурсия

Вычислить скорости и ускорения звеньев, обобщенные силы и моменты сил, действующих на звеньях последовательно от 1-го до 5-го:

$$\omega_{i+1} = R_i^{i+1} \omega_i + \dot{\theta}_{i+1} \hat{Z}_{i+1}, \quad (11)$$

$$\dot{\omega}_{i+1} = R_i^{i+1} \dot{\omega}_i + R_i^{i+1} \omega_i \times \dot{\theta}_{i+1} \hat{Z}_{i+1} + \ddot{\theta}_{i+1} \hat{Z}_{i+1}, \quad (12)$$

$$\dot{v}_{i+1} = R_i^{i+1} (\dot{\omega}_i \times b_i^{i+1} + \omega_i \times b_i^i) + \dot{v}_i, \quad (13)$$

$$\dot{v}_{C_{i+1}} = \dot{\omega}_{i+1} \times b_{C_{i+1}}^{i+1} + \omega_{i+1} \times (\omega_{i+1} \times b_{C_{i+1}}^{i+1}) + \dot{v}_{i+1}, \quad (14)$$

где ω_i – угловая скорость i -го звена; $\dot{\omega}_i$ – угловое ускорение i -го звена; R_i^{i+1} – матрица перехода от системы координат i -го звена в систему координат $i+1$ -го звена; $\dot{\theta}_i$ – угловая скорость вращения i -го шарнира; $\ddot{\theta}_i$ – угловое ускорение вращательного i -го шарнира; \hat{Z}_i – ось вращательного i -го сочленения; b_i^{i+1} – радиус-вектор, от начала системы координат i -го звена до начала системы координат $i+1$ -го звена; $b_{C_i}^i$ – радиус-вектор от начала системы координат i до центра масс звена i ; \dot{v}_i – линейное ускорение начала системы координат i -го звена; $\dot{v}_{C_i}^i$ – линейное ускорение центра масс i -го звена.

Обратная рекурсия

Вычислить силы и моменты.

$$F_i = m_i \dot{v}_{C_i}^i, \tag{15}$$

где F_i – общая внешняя сила на i -ое звено; m_i – общая масса i -го звена.

$$N_i = I_i \dot{\omega}_i + \omega_i \times I_i \omega_i, \tag{16}$$

где N_i – суммарный внешний крутящий момент на i -ое звено; I_i – момент инерции i -го звена относительно его центра масс.

$$f_i = R_{i+1}^i f_{i+1} + F_i, \tag{17}$$

$$n_i = N_i + R_{i+1}^i n_{i+1} + b_{C_i}^i \times F_i + b_{i+1}^i \times R_{i+1}^i f_{i+1}, \tag{18}$$

$$\tau_i = n_i^T \hat{Z}_i, \tag{19}$$

где f_i – сила, действующая на звено i со стороны звена $i-1$; n_i – момент, действующий на звено i со стороны звена $i-1$; τ_i – крутящий момент в шарнире i .

Таким образом, с выполнением процедуры (см. рис.5) в среде MATLAB были получены пять обучающих наборов данных для обучения модели обратной динамики манипулятора $(\theta_1, \dot{\theta}_1, \ddot{\theta}_1, \dots, \theta_5, \dot{\theta}_5, \ddot{\theta}_5, \tau_1)$, $(\theta_1, \dot{\theta}_1, \ddot{\theta}_1, \dots, \theta_5, \dot{\theta}_5, \ddot{\theta}_5, \tau_2)$, $(\theta_1, \dot{\theta}_1, \ddot{\theta}_1, \dots, \theta_5, \dot{\theta}_5, \ddot{\theta}_5, \tau_3)$, $(\theta_1, \dot{\theta}_1, \ddot{\theta}_1, \dots, \theta_5, \dot{\theta}_5, \ddot{\theta}_5, \tau_4)$ и $(\theta_1, \dot{\theta}_1, \ddot{\theta}_1, \dots, \theta_5, \dot{\theta}_5, \ddot{\theta}_5, \tau_5)$. Входными значениями $(\theta_i, \dot{\theta}_i, \ddot{\theta}_i)$ представляются положения, скорости и ускорения в соответственных шарнирах манипулятора. Выходными значениями (τ_i) представляются крутящие моменты в соответственных шарнирах манипулятора.

Каждый набор обучающих данных включает в себя 1600000 векторов. Пример получаемого обучающего набора для обучения модели обратной динамики манипулятора показан на рисунке 6.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
849324	3	-4.4409e-16	-1.1250	1.4000	-2.2204e-16	-0.5250	1.4000	1.1102e-16	-0.5250	1.4000	0	-0.5250	-0.0478
849325	0	0	1.1400	0	0	0.5250	0	0	0.5250	0	0	0.5250	9.5788e-04
849326	0.0220	0.2166	1.0260	0.0102	0.0997	0.4725	0.0102	0.0998	0.4725	0.0102	0.0997	0.4725	9.4226e-04
849327	0.0851	0.4104	0.9120	0.0392	0.1890	0.4200	0.0392	0.1890	0.4200	0.0392	0.1890	0.4200	0.0021
849328	0.1847	0.5814	0.7980	0.0850	0.2678	0.3675	0.0851	0.2678	0.3675	0.0850	0.2678	0.3675	0.0065
849329	0.3162	0.7296	0.6840	0.1456	0.3360	0.3150	0.1456	0.3360	0.3150	0.1456	0.3360	0.3150	0.0157

Рисунок 6 – Часть получаемых обучающих наборов данных для обучения модели обратной динамики манипулятора

Подробности процедуры были представлены в работах [2,3]. Предложенные процедуры обеспечивают как простые и эффективные методы для создания обучающих наборов данных для обучения моделей кинематики и динамики манипулятора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ту Раин. Моделирование динамики манипулятора с использованием адаптивной нейро-нечеткой системы вывода. / Ту Раин, Ян Найнг Со // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2019 – Том 7, №4 – С. 1-14.
2. С.М. Ситник. Эффективная методология сбора данных для обучения обратной динамической модели манипулятора на основе аналитического метода – I./ С.М. Ситник, Ту Раин // Челябинский физико-математический журнал – 2023 – Том 8, вып. 1, – С. 140 - 145.
3. Ту Раин. Эффективная методология сбора данных для обучения обратной динамической модели манипулятора на основе аналитического метода – II. / Ту Раин // Челябинский физико-математический журнал – 2023 – Том , вып , – С. 146 - 151.

Ситник Сергей Михайлович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
д. ф.-м. н, Профессор кафедры «Прикладная математика и компьютерное моделирование»
Тел.: +79102437771
E-mail: sitnik@bsu.edu.ru

Ту Раин

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
научный соискатель кафедры «Математическое и программное обеспечение информационных систем»
Тел.: +79801880975
E-mail: thurein.48@gmail.com

УДК 519.7

Т.В. СОПОВА, О.В. ЧЕРНОВА
T.V. SOPOVA, O.V. CHERNOVA

О РАЗРЕШИМОСТИ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ПЕРВОГО ПОРЯДКА

ON THE SOLVABILITY OF A BOUNDARY PROBLEM FOR A FIRST ORDER SYSTEM

В данной статье авторы рассматривают на плоскости краевую задачу для системы первого порядка эллиптического типа. Применяя результаты классической теории сингулярных уравнений удаётся редуцировать поставленную задачу к системе сингулярных интегральных уравнений, разрешая которую установлена фредгольмовость поставленной задачи в определенном классе и найдена формула для её индекса.

Ключевые слова: интегральный оператор типа Коши, краевая задача, сингулярный оператор Коши, фредгольмов оператор, эллиптические системы.

In this article, the authors consider a boundary value problem on the plane for a first-order system of elliptic type. Applying the results of the classical theory of singular equations, it is possible to reduce the posed problem to a system of singular integral equations, solving which the Fredholm property of the posed problem in a certain class is established and a formula for its index is found.

Keywords: integral operator of Cauchy type, boundary value problem, singular Cauchy operator, Fredholm operator, elliptic systems.

Решение многих прикладных задач сводится к решению краевых задач для эллиптических систем первого порядка. Впервые метод сведения краевой задачи для эллиптической системы к системе сингулярных интегральных уравнений впервые был изложен в работе В.Г. Мазья [2]. А уже в конце прошлого века в работе Я.Б. Лопатинского [3] были рассмотрены краевые задачи для эллиптических систем в двумерной области с угловой точкой. Много интересных результатов по краевым задачам для общих эллиптических систем с постоянными коэффициентами было получено в работах А. П. Солдатова. Так в статье [6] для пространств с весом для областей с кусочно-гладкой границей была изучена краевая задача для эллиптических систем с постоянными матричными коэффициентами, которая охватывает широкий круг локальных и нелокальных краевых задач и предложен метод эквивалентной редукции этой задачи к системе граничных уравнений. Проблема постановки фредгольмовых краевых задач для общих эллиптических систем по-прежнему занимает важное место в современной теории эллиптических краевых задач.

Введем в рассмотрение класс $C_j^\mu(\bar{D}) = \{\phi \in C^\mu(\bar{D}) \cap C^1(D) | L\phi \in C^\mu(\bar{D})\}$, где дифференциальный оператор $\frac{\partial}{\partial y} - J \frac{\partial}{\partial x}$ обозначен для удобства через L . И пусть область D комплексной плоскости \mathbb{C} ограничена гладким контуром $\Gamma \in C^{1,\mu+0}$, т. е. производная параметризации гладкой кривой принадлежит классу $C^{1,\mu+\varepsilon}$, $\varepsilon > 0$ Подробное описание классов можно найти в работе [4]. В этой области D для системы вида

$$L\phi + a\phi + b\bar{\phi} = f_2 \quad \#(1)$$

поставим задачу: найти такое её решение из класса $C_j^\mu(\bar{D})$, которое бы удовлетворяло следующему краевому условию

$$\operatorname{Re} G\phi^+|_\Gamma = f_1. \quad \#(2)$$

Здесь через G обозначена $l \times l$ матрица-функция из класса $C^{\mu+0}$ [4], определитель которой всюду отличен от нуля. Все дальнейшие рассмотрения проводятся с учетом того, что система (1) есть система эллиптического типа [8] и собственные значения постоянной матрицы $J \in C^{l \times l}$ лежат в верхней полуплоскости.

Лемма 1. Задача (1) – (2) в классе $C_J^\mu(\bar{D})$ эквивалентным образом редуцируется к следующей системе сингулярных интегральных уравнений

$$\begin{aligned} 2\operatorname{Re}(GI_2\varphi_2)(t_0) + 2\operatorname{Re}[G(\varphi_1 + S_J\varphi_1)](t_0) - 2\operatorname{Im}G(t_0)\xi = 2f_1(t_0), \quad t_0 \in \Gamma, \\ \varphi_2(z) + [aI_2\varphi_2 + b\overline{I_2\varphi_2}](z) + [aI_1\varphi_1 + b\overline{I_1\varphi_1}](z) + i(a-b)\xi = f_2(z), \quad z \in D, \end{aligned} \quad \#(3)$$

где $(I_1\varphi_1)(z)$ и $(S_J\varphi_1)(t_0)$ интегральный и сингулярный операторы типа Коши соответственно с вещественной функцией φ_1 [1], а $(I_2\varphi)(z)$ – интегральный оператор по области определенный для комплексных l – вектор-функций $\varphi \in C^\mu(\bar{D})$ [4].

Используя оценку [1]

$$|K|_\mu \leq C|\varphi|_0|k|_\nu, \quad (4)$$

где постоянная $C > 0$ зависит только от μ, ν и Γ , а K есть интегральный оператор вида

$$(K\varphi)(t_0) = \int_\Gamma \frac{k(t_0, t)}{t-t_0} \varphi(t) |dt|, \quad t_0 \in \Gamma. \quad (5)$$

мы можем записать систему (3) в терминах классического сингулярного оператора Коши

$$(S\varphi)(t_0) = \frac{1}{\pi i} \int_\Gamma \varphi(t)(t-t_0)^{-1} dt, \quad t_0 \in \Gamma.$$

Как известно из [4] оператор $K\varphi$, определяемый правой частью (5), где функции $k \in C^{\mu+0}(\Gamma \times \Gamma)$ и $(t, t) = 0$ ограничен $C(\Gamma) \rightarrow C^\mu(\Gamma)$ и, значит, компактен в $C^\mu(\Gamma)$. Обозначим класс таких операторов через $\mathcal{K}_0(C^\mu)$.

Лемма 2. Пусть контур $\Gamma \in C^{1, \mu+1}$. Тогда операторы $S_J - S$ и $-S_J + S$ принадлежат классу $\mathcal{K}_0(C^\mu)$.

Далее перейдем к системе (3), которую запишем в следующей операторной форме:

$$\begin{aligned} (K_{11}\varphi_1)(t_0) + (K_{12}\varphi_2)(t_0) + C_1(t_0)\xi = f_1(t_0), \quad t_0 \in \Gamma, \\ (K_{21}\varphi_1)(t_0) + \varphi_2(z)(1 + K_{22}) + C_2(z)\xi = f_2(z), \quad z \in D. \end{aligned} \quad \#(6)$$

В силу того, что функция φ_1 вещественна, $2\operatorname{Re}[GS_J\varphi_1] = GS_J\varphi_1 - GS_J\varphi_1$, для оператора K_{11} получим выражение $(K_{11}\varphi_1)(t_0) = [G(\varphi_1 + S_J\varphi_1) + \bar{G}(\varphi_1 - S_J\varphi_1)](t_0)$. Операторы K_{12}, K_{21}, K_{22} и функции C_1, C_2 здесь определяются равенствами

$$\begin{aligned} (K_{12}\varphi_2)(t_0) &= 2\operatorname{Re}(GI_2\varphi_2)(t_0), \\ (K_{21}\varphi_1)(z) &= (aI_1\varphi_1 + b\overline{I_1\varphi_1})(z), \quad (K_{22}\varphi_2)(z) = (aI_2\varphi_2(z) + b\overline{I_2\varphi_2(z)})(z), \\ C_1(t_0) &= -2\operatorname{Im}G(t_0), \quad C_2(z) = i(a-b)(z). \end{aligned}$$

Оператор системы (7) действует $C_{\mathbb{R}}^\mu(\Gamma) \times C^\mu(\bar{D}) \times \mathbb{R}^l \rightarrow C_{\mathbb{R}}^\mu(\Gamma) \times C^\mu(\bar{D})$, где нижний индекс \mathbb{R} указывает на то, что элементы соответствующего пространства являются вещественными вектор-функциями. Вводя следующие операторные матрицы

$$N = \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & 1 + K_{22} \end{pmatrix}, \quad C = \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \end{pmatrix}$$

запишем систему можно записать в краткой форме $N\varphi + C\xi = f$. Оператор K_{11} здесь естественным образом [5] продолжается на комплексные вектор-функции по правилу

$$\overline{K_{11}\varphi_1} = K_{11}\overline{\varphi_1},$$

а значит оператор данной системы можно рассматривать в пространствах комплексных векторов, при этом его свойство фредгольмовости и индекс останутся неизменными (если размерности понимать над соответствующими полями \mathbb{R} и \mathbb{C}).

Убедимся, что что оператор N фредгольмов в пространстве $C_{\mathbb{R}}^\mu(\Gamma) \times C^\mu(\bar{D})$ комплексных вектор-функций. Операторы K_{22} и K_{12} компактны, соответственно, в пространствах $C^\mu(\bar{D}) \rightarrow C^\mu(\bar{D})$ и $C^\mu(\bar{D}) \rightarrow C^\mu(\Gamma)$ [4]. На основании леммы 2 можем записать

$$K_{11} = G(1 + S) + \bar{G}(1 - S) + GK_1 + \bar{G}K_2,$$

где операторы $K_j \in \mathcal{K}_0(C^\mu)$. Таким образом, с точностью до компактного слагаемого оператор N совпадает с

$$N_0 = \begin{pmatrix} G(1 + S) + \bar{G}(1 - S) & 0 \\ K_{21} & 1 \end{pmatrix}.$$

Фигурирующую здесь матрицу можно представить в виде произведения

$$\begin{pmatrix} G(1+S) + \bar{G}(1-S) & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ K_{21} & 1 \end{pmatrix}.$$

Согласно классической теории сингулярных уравнений [4] оператор, определяемый первым сомножителем фредгольмов и его индекс равен $-\alpha_0$. Что касается оператора, отвечающего второму сомножителю, то он, очевидно, обратим.

Таким образом, на основании известных свойств [7] фредгольмовых операторов оператор N фредгольмов и его индекс равен $-\alpha_0$. Используя оценку (4) и леммы 1,2, основной результат работы сформулируем в виде следующей теоремы.

Теорема 2. Задача (1) – (2) фредгольмова в классе $C_J^H(\bar{D})$ и ее индекс дается формулой

$$\alpha = -\alpha_0 + l, \quad \alpha_0 = \frac{1}{\pi} (\arg \det G)|_{\Gamma, \#}$$

где приращение непрерывной ветви аргумента берется в направлении, оставляющем область D слева.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ващенко О.В. Интегральное представление решений эллиптических систем первого порядка в классах Гельдера // Материалы III Школы молодых ученых «Нелокальные краевые задачи и проблемы современного анализа и информатики». Нальчик-Эльбрус. 2005. – С.11-14.
2. Лопатинский Я.Б. Теория общих граничных задач / Я. Б. Лопатинский. – К: Наукова думка, 1984. – 316 с.
3. Мазья В.Г. Граничные интегральные уравнения // Анализ – 4, Итоги науки и техн. Сер. Современ. пробл. мат. Фундам. направления, ВИНТИ, М. – 1988. – С. 131-228.
4. Мухелишвили Н.И. Сингулярные интегральные уравнения. 3-е изд., – М., Наука, 1968. – 639 с.
5. Солдатов А.П. Метод теории функций в краевых задачах на плоскости I. Гладкий случай // Изв. АН СССР (сер.матем.) 1991. – Т.55, № 5. – С.1070-1100.
6. Солдатов А.П. Эллиптические системы второго порядка на полуплоскости // Изв. РАН. Сер. матем – 2006. Т. 70, № 6. – С. 161-192.
7. Пале Р. Семинар по теореме Атьи-Зингера об индексе. – М.: Мир, 1970. – 321 с.
8. Чернова О.В. Фредгольмова разрешимость задачи линейного сопряжения для эллиптической системы первого порядка с комплексными коэффициентами // Динамические системы. – 2018. – Т. 8(36), №4. – С. 357-371.

Сопова Татьяна Владимировна

ОГАПОУ «Белгородский педагогический колледж», г. Белгород
преподаватель

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
магистрант первого года обучения кафедры прикладной математики и компьютерного моделирования
Тел.: +7(4722) 30-13-00*4267
E-mail: 1318340@bsu.edu.ru

Чернова Ольга Викторовна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород
К.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры прикладной математики и компьютерного моделирования
Тел.: +7(4722) 30-13-00*4267
E-mail: Chernova_Olga@bsu.edu.ru

УДК 681.5

А.Б. ЧЕРНЫШЕВ, А.В. СУКМАНОВ, Е.В. МЯСНИКОВА
 A.B. CHERNYSHEV, A.V. SUKMANOV, E.V. MYASNIKOVA

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ РАЗЛОЖЕНИЯ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ ПО ПРОСТРАНСТВЕННЫМ МОДАМ

STABILITY ANALYSIS OF DISTRIBUTED SYSTEMS BASED ON THE DECOMPOSITION OF TRANSFER FUNCTIONS BY SPATIAL MODES

Рассмотрена возможность обобщения некоторых критериев анализа устойчивости применительно к некоторому классу систем с распределенными параметрами, отличающихся от сосредоточенных систем наличием в их моделях пространственных координат и требующих пространственно-временного управления. Такое обобщение возможно с использованием разложения передаточных функций линейной части в виде совокупности пространственных мод, которые можно рассматривать как независимые условно-сосредоточенные контуры.

Ключевые слова: устойчивость, передаточная функция, распределенная система, структурное представление, обобщенная координата.

The possibility of the synthesis of certain criteria of sustainability analysis with respect to some class of systems with distributed parameters other than those focused on the existence of systems in their spatial data models and space-time control. Such generalization is possible using a decomposition of the linear portion of the transfer function in the form of aggregate spatial mod that can be considered as independent shareware concentrated contours.

Keywords: sustainability, transfer function, distributed system, structural representation, generalized coordinate.

Одним из наиболее важных действий в процессе синтеза систем управления, является анализ устойчивости. Процедура анализа устойчивости наиболее разработана для систем с сосредоточенными параметрами. Сложнее обстоит дело с распределенными системами, особенно с нелинейными. По сравнению с системами с сосредоточенными параметрами, при реализации систем с распределенными параметрами расширяется класс управляющих воздействий, в их число включаются пространственно-временные управления, описываемые функциями нескольких аргументов – времени и пространственных координат. Использование теории рядов Фурье позволяет выделить класс распределенных объектов, математические модели которых допускают разложение по собственным вектор-функциям оператора объекта. Используя такое разложение, передаточная функция распределенного объекта может быть представлена в виде совокупности передаточных функций по пространственным модам, что позволяет говорить о структурном представлении линейной части распределенного объекта [1]. Естественной проблемой такого представления, является проблема адекватности модели реальному объекту, так как на практике используется конечное число слагаемых бесконечного ряда.

Для учета пространственных координат вводится понятие «обобщенная координата» [2]. Смысл введенного понятия рассмотрим на примере усилительного звена. Пусть заданы изображения по Лапласу при нулевых начальных условиях входного воздействия $\alpha(x, y, s)$ и функции выхода $U(x, y, s)$, которые связаны соотношением:

$$U(x, y, s) = E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} \alpha(x, y, s) - \frac{1}{n_1} \nabla^2 \alpha(x, y, s) \right],$$

где E_1 – общий коэффициент усиления (заданное число); x, y – пространственные координаты;

$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ – лапласиан; n_1 – весовой коэффициент ($n_1 \geq 1$).

Передаточная функция распределенного звена определяется соотношением:

$$W(x, y, s) = \frac{U(x, y, s)}{\alpha(x, y, s)},$$

или

$$W(x, y, s) = E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} - \frac{1}{n_1} \nabla^2 \right].$$

Для определения статических характеристик пространственно-усилительного звена представим входное воздействие в виде ряда Фурье по пространственным координатам.

$$\alpha(x, y, s) = \sum_{\eta, \gamma=1}^{\infty} \sum_{\xi=1}^4 C_{\eta, \gamma, \xi}(s) B_{\eta, \gamma, \xi}(x, y),$$

где:

$$B_{\eta, \gamma, 1}(x, y) = \cos(\psi_{\eta} x) \cos(\tilde{\psi}_{\gamma} y); \quad B_{\eta, \gamma, 2}(x, y) = \sin(\psi_{\eta} x) \cos(\tilde{\psi}_{\gamma} y);$$

$$B_{\eta, \gamma, 3}(x, y) = \cos(\psi_{\eta} x) \sin(\tilde{\psi}_{\gamma} y); \quad B_{\eta, \gamma, 4}(x, y) = \sin(\psi_{\eta} x) \sin(\tilde{\psi}_{\gamma} y);$$

$\xi = \overline{1, 4}$ – набор тригонометрических функций; η – номер гармоники ряда по переменной x ; γ – номер гармоники ряда по переменной y ; $C_{\eta, \gamma, \xi}(s) = q_{\eta, \gamma, \xi} \exp(s)$ – заданные функции;

$$\psi_{\eta} = \frac{\pi \eta}{l_x}; \quad \tilde{\psi}_{\gamma} = \frac{\pi \gamma}{l_y},$$

тогда:

$$\frac{\partial^2 B_{\eta, \gamma, \xi}(x, y)}{\partial x^2} = -\psi_{\eta}^2 B_{\eta, \gamma, \xi}(x, y); \quad \frac{\partial^2 B_{\eta, \gamma, \xi}(x, y)}{\partial y^2} = -\tilde{\psi}_{\gamma}^2 B_{\eta, \gamma, \xi}(x, y);$$

$$U(x, y, s) = \sum_{\eta, \gamma=1}^{\infty} \sum_{\xi=1}^4 E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} + \frac{1}{n_1} (\psi_{\eta}^2 + \tilde{\psi}_{\gamma}^2) \right] C_{\eta, \gamma, \xi}(s) B_{\eta, \gamma, \xi}(x, y).$$

Коэффициент усиления пространственно-усилительного звена по каждой составляющей ряда входного воздействия имеет вид:

$$K_{\eta, \gamma, \xi} = E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} + \frac{1}{n_1} (\psi_{\eta}^2 + \tilde{\psi}_{\gamma}^2) \right], \quad (\eta, \gamma = \overline{1, \infty}; \xi = \overline{1, 4}). \quad (1)$$

Введем дискретную функцию

$$\tilde{G}(\eta, \gamma) = \psi_{\eta}^2 + \tilde{\psi}_{\gamma}^2,$$

или

$$\tilde{G}(\eta, \gamma) = \left(\frac{\pi \eta}{l_x} \right)^2 + \left(\frac{\pi \gamma}{l_y} \right)^2.$$

Значения функции \tilde{G} зависят не только от номеров разложения в ряд η и γ , по пространственным координатам, но и от геометрических параметров l_x и l_y .

При значениях $\eta = \gamma = n$ (n -я мода):

$$\tilde{G}_n = \left(\frac{n\pi}{l_x} \right)^2 + \left(\frac{n\pi}{l_y} \right)^2 = \frac{n^2 \pi^2 (l_y^2 + l_x^2)}{l_x^2 l_y^2}.$$

При фиксированных геометрических параметрах объекта l_x и l_y значение функции \tilde{G} зависит от квадрата номера пространственной моды:

$$\tilde{G}_n = L^* n^2,$$

где

$$L^* = \frac{\pi^2(l_y^2 + l_x^2)}{l_x^2 l_y^2}.$$

Таким образом, передаточная функция пространственно-усилительного звена может быть представлена бесконечной совокупностью коэффициентов усиления. Перейдем от набора функций к функциональной зависимости $K(G)$. Для этого заменим \tilde{G} непрерывной функцией G с областью определения $[0; \infty)$. В этом случае, при изменении G от 0 до ∞ охватятся все дискретные значения \tilde{G} , т. е. все дискретные значения функции $\tilde{G}(n)$ будут принадлежать области определения непрерывной функции G . Тогда выражение (1) может быть записано в виде:

$$K(G) = E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} + \frac{1}{n_1} G \right], \quad 0 \leq G \leq \infty.$$

Структурное представление распределенных звеньев позволяет исследовать распределенные системы, представляя их как бесконечную совокупность условно-сосредоточенных контуров [3,4].

Рассмотрим более подробно обобщение критерия абсолютной устойчивости Попова для систем с распределенными параметрами [5,6]. Достаточно широкое распространение в теории и практике имеет класс нелинейных распределенных систем, в которых возможно выделение линейной части, как отдельного звена. Для нелинейных систем с сосредоточенными параметрами В. М. Поповым предложен частотный критерий абсолютной устойчивости, т. е. устойчивости системы при любых начальных отклонениях для любой формы нелинейной характеристики, принадлежащей к некоторому определенному классу. Для систем с сосредоточенными параметрами нелинейный элемент задается функцией $z = \varphi(\sigma)$, которая значению $\sigma(t)$ входного сигнала ставит в соответствие значение $z(t)$ выходного сигнала звена: $z(t) = \varphi(\sigma(t))$. Для абсолютной устойчивости положения равновесия нелинейной сосредоточенной системы с устойчивой линейной частью (ЛЧ) достаточно существования действительного значения q , для которого выполняется условие:

$$\forall \omega \geq 0 : \operatorname{Re}[(1 + j\omega q)W(j\omega)] > -\frac{1}{k},$$

где k – угловой коэффициент прямой, ограничивающей область абсолютной устойчивости, являющийся некоторым предельным параметром нелинейной характеристики $\varphi(\sigma)$, произвольно располагающейся в заданной области.

$$0 \leq \frac{\varphi(\sigma)}{\sigma} \leq k, \text{ при } \sigma \neq 0; \varphi(0) = 0.$$

Частотная характеристика представляется в виде:

$$W(j\omega) = \operatorname{Re}[W(j\omega)] + j \operatorname{Im}[W(j\omega)].$$

Вводится понятие модифицированной амплитудно-фазовой характеристики линейной части (АФХ ЛЧ).

$$W^*(j\omega) = \operatorname{Re}[W^*(j\omega)] + j \operatorname{Im}[W^*(j\omega)],$$

где

$$\operatorname{Re}[W^*(j\omega)] = \operatorname{Re}[W(j\omega)]; \operatorname{Im}[W^*(j\omega)] = \omega \operatorname{Im}[W(j\omega)].$$

По значению параметра k определяется точка $-\frac{1}{k}$ на действительной оси комплексной плоскости, через которую проходит прямая Попова: $X - qY + \frac{1}{k} = 0$.

$$X = \operatorname{Re}[W(j\omega)]; Y = \omega \operatorname{Im}[W(j\omega)]; W^*(j\omega) = X + jY.$$

Пусть нелинейный элемент задается функцией $z = \varphi(\sigma)$, которая значению $\sigma(x, y, t)$ входного сигнала ставит в соответствие значение $z(x, y, t)$ выходного сигнала звена, т. е. $z(x, y, t) = \varphi(\sigma(x, y, t))$. Рассмотрим передаточную функцию W для объекта с распределенными параметрами, математическая модель которого имеет вид:

$$\frac{\partial Q(x,t)}{\partial t} - a^2 \frac{\partial^2 Q(x,t)}{\partial x^2} = f(x,t);$$

$$Q(x,0) = Q_0(x); Q(0,t) = q_1(t); Q(l,t) = q_2(t); 0 \leq x \leq l; t \geq 0; a > 0.$$

$$W(x, \xi, p) = \frac{\frac{2}{l} \sum_{n=1}^{\infty} \sin \frac{\pi n}{l} x \sin \frac{\pi n}{l} \xi}{p + \left(\frac{a\pi n}{l}\right)^2}.$$

Передаточная функция по каждому контуру пространственно-инвариантной системы может быть представлена в виде:

$$W_n(p) = \frac{\frac{2}{la^2 \psi_n^2} \sin(\psi_n x) \sin(\psi_n \xi)}{\frac{p}{a^2 \psi_n^2} + 1}; \psi_n = \frac{\pi n}{l},$$

заменяя $p=j\omega$, получим комплексный передаточный коэффициент по n -ой ($n = \overline{1, \infty}$) составляющей входного воздействия.

$$W_n(j\omega) = \frac{\frac{2}{la^2 \psi_n^2} \sin(\psi_n x) \sin(\psi_n \xi)}{j\omega \frac{1}{a^2 \psi_n^2} + 1}.$$

Выделяя действительную и мнимую части, получим:

$$\operatorname{Re}[W(j\omega)] = \frac{\frac{2}{l} \sin(\psi_n x) \sin(\psi_n \xi)}{a^2 \psi_n^2 + \omega^2}; \operatorname{Im}[W(j\omega)] = -j \frac{\frac{2\omega}{la^2 \psi_n^2} \sin(\psi_n x) \sin(\psi_n \xi)}{a^2 \psi_n^2 + \omega^2}.$$

Обозначим:

$$X = \operatorname{Re}[W(j\omega)]; Y = \omega \operatorname{Im}[W(j\omega)];$$

$X - qY + \frac{1}{k} = 0$ – уравнение прямой в прямоугольной системе координат OXY .

Применительно к системам с распределенными параметрами, рассмотрим коэффициент k , как коэффициент усиления пространственно-усилительного звена.

$$K(G) = E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} + \frac{1}{n_1} G \right], \quad 0 \leq G \leq \infty.$$

Тогда уравнение прямой, ограничивающей сектор нелинейности сверху, для каждого контура можно записать в виде:

$$z_n = E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} + \frac{1}{n_1} G_n \right] \cdot \sigma_n,$$

где n – номер контура.

Уравнение поверхности, ограничивающей область нелинейности, выраженное через частные производные, может быть записано в виде [7]:

$$z = E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} - \frac{1}{n_1} \nabla^2 \right] \cdot \sigma = E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} - \frac{1}{n_1} \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \right] \cdot \sigma(x, y, t) =$$

$$= E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} \sigma(x, y, t) - \frac{1}{n_1} \left(\frac{\partial^2 \sigma(x, y, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \sigma(x, y, t)}{\partial y^2} \right) \right].$$

Откуда получим, что если нелинейное входное воздействие не зависит от пространственных координат, то выражение примет вид:

$$z = E_1 \frac{n_1 - 1}{n_1} \cdot \sigma(t), \text{ где } k = E_1 \frac{n_1 - 1}{n_1},$$

т. е. уравнение прямой $z = k\sigma(t)$ не зависит от значения обобщенной координаты G .

Однако, параметр k – угловой коэффициент прямой, ограничивающей сектор нелинейной характеристики может зависеть от значения обобщенной координаты G .

Рассмотрим нелинейную систему с устойчивой линейной частью. Положим, что нелинейный элемент имеет однозначную статическую характеристику. Если входное воздействие задано в виде изображения по $(\sigma(x, y, s))$, то поверхность, ограничивающая сектор $[0; k]$ сверху будет иметь вид:

$$z = E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} + \frac{1}{n_1} G \right] \cdot \sigma(x, y, s); \quad k = E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} + \frac{1}{n_1} G \right].$$

Определен вид поверхности, ограничивающей область нелинейности, в зависимости от значений параметров, влияющих на ее форму [8]. При возрастании весового коэффициента n_1 гиперболическая поверхность выпрямляется, при $n_1 = \infty$ представляет собой плоскость. При увеличении общего коэффициента усиления E_1 произойдет увеличение углового коэффициента k для каждого из значений G . Разработан обобщенный критерий абсолютной устойчивости нелинейных распределенных систем управления, указанного класса.

Пусть выполняются условия:

А). Все полюсы передаточной функции линейной части системы имеют отрицательные действительные части (т. е. линейная часть разомкнутой системы устойчива).

Б). Характеристика нелинейного элемента $z = \varphi(\sigma(x, y, t))$ должна принадлежать области ограниченной плоскостью $z=0$ и поверхностью

$$z = E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} \sigma(x, y, t) - \frac{1}{n_1} \left(\frac{\partial^2 \sigma(x, y, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \sigma(x, y, t)}{\partial y^2} \right) \right], \text{ т. е.}$$

$$\varphi(0) = 0; \quad 0 \leq \frac{\varphi(\sigma(x, y, t))}{\sigma(x, y, t)} \leq E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} - \frac{1}{n_1} \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \right], \text{ при всех } \sigma(x, y, t) \neq 0.$$

Если входное воздействие задано в виде изображения по Лапласу $\sigma(x, y, s)$, то поверхность, ограничивающая область сверху будет иметь вид:

$$z = E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} + \frac{1}{n_1} G \right] \cdot \sigma(x, y, s); \quad \varphi(0) = 0, \quad 0 \leq \frac{\varphi(\sigma(x, y, s))}{\sigma(x, y, s)} \leq E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} + \frac{1}{n_1} G \right], \quad \sigma(x, y, t) \neq 0.$$

В). Существует действительное число q такое, что при всех $\omega \in [0; \infty)$ выполняется неравенство

$$\operatorname{Re}[(1 + j\omega q)W(j\omega)] > - \frac{1}{E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} + \frac{1}{n_1} G \right]}.$$

Тогда при любых ограниченных начальных отклонениях от нулевого значения функция $\sigma(x, y, t)$ остается ограниченной при $t > 0$ и $\sigma(x, y, t) \rightarrow 0$, при $t \rightarrow \infty$, т. е. система будет асимптотически устойчивой, т. к. из ограниченности $\sigma(x, y, t)$ следует ограниченность $Q(x, y, t)$, а из стремления $\sigma(x, y, t)$ к нулю следует, что $Q(x, y, t) \rightarrow 0$ при $t \rightarrow \infty$. Таким образом, можно дать следующую графическую интерпретацию модифицированного критерия Попова:

Если передаточная функция разомкнутой системы не имеет полюсов, лежащих в правой полуплоскости, тогда для абсолютной устойчивости замкнутой системы достаточно, чтобы моди-

фицированный пространственный годограф не пересекал поверхность, проходящую через линию

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Re}(W) = -\frac{1}{E_1 \left[\frac{n_1 - 1}{n_1} + \frac{1}{n_1} G \right]}; \text{Im}(W) = 0 \end{array} \right\} \text{ и прямую } \{ \text{Re}(W) = 0; \text{Im}(W) = q; G \}.$$

В результате структурного представления передаточных функций линейной части распределенных звеньев в виде совокупности пространственных мод и введения понятия обобщенной координаты возможна процедура обобщения некоторых критериев анализа устойчивости, известных из теории систем с сосредоточенными параметрами. Такое представление позволяет решать проблему использования конечного числа слагаемых бесконечного ряда, из которой следует проблема адекватности модели реальному объекту. Описанный выше подход позволяет исследовать устойчивость всей бесконечной совокупности пространственных мод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рапопорт Э.Я. Структурное моделирование объектов и систем управления с распределенными параметрами. – М.: Высшая школа, 2003. – 299 с.
2. Першин И.М. Синтез систем с распределенными параметрами. – Пятигорск: РИА-КМВ, 2002. – 212 с.
3. Чернышев А.Б. Исследование абсолютной устойчивости нелинейных распределенных систем // Автоматизация и современные технологии. 2010. № 4. – С. 21-26.
4. Чернышев А.Б. Обобщение методов анализа устойчивости для распределенных систем // Современная наука и инновации. 2015. № 3 (11). – С. 16-22.
5. Чернышев А.Б. Модифицированный критерий абсолютной устойчивости нелинейных распределенных систем управления // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2009. № 3 (151). – С. 38-41.
6. Чернышев А.Б. Интерпретация критерия абсолютной устойчивости для нелинейных распределенных систем // Автоматизация и современные технологии. 2010. № 2. – С. 28-32.
7. Martirosyan K.V., Chernyshev A.B., Martirosyan A.V., Tatyana K.V. Formation of the anterior heating function under the action of uniformly distributed sources // В сборнике: Proceedings of the 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2020. 2020. – С. 755-760.
8. Martirosyan A.V., Chernyshev A.B., Martirosyan K.V. Calculation of the first switch-on time of distributed object's control action // В сборнике: Proceedings of the 2020 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, EIConRus 2020. 2020. – С. 750-754.

Чернышев Александр Борисович

Северо-Кавказский федеральный университет
д.т.н., доцент, профессор кафедры «Системы управления и информационные технологии»
тел.: +7(928) 36-128-36
E-mail: chalbor@rambler.ru

Сукманов Александр Владимирович

Северо-Кавказский филиал ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологий университет им. В.Г. Шухова» (г. Минеральные Воды)
к.т.н., доцент кафедры экономических и естественно-научных дисциплин
тел.: +7(918) 784-93-33
E-mail: capoaro@yandex.ru

Мясникова Елена Васильевна

Северо-Кавказский федеральный университет
ассистент кафедры «Системы управления и информационные технологии»
тел.: +7(938) 303-08-30
E-mail: kaf-utbs@pfncfu.ru

Научное издание

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ,
ОБРАЗОВАНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ (ИТНОП-2023)**

Сборник трудов IX Международной научно-технической
конференции

(г. Белгород, 31 мая – 2 июня 2023 г.)

Публикуется в авторской редакции

Оригинал-макет: А.Н. Оберемок
Выпускающий редактор: Ю.В. Ивахненко

Подписано в печать 08.08.2023. Формат 60×90/16
Гарнитура Times New Roman. Усл. п. л. 29,3. Тираж 100 экз. Заказ 160
Оригинал-макет подготовлен и тиражирован в ИД «БелГУ» НИУ «БелГУ»
308015 г. Белгород, ул. Победы, 85. Тел.: 30-14-48