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 наделять 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 количественною 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 = {ω1, ω2, $\tilde{X}$}, ω1 - наиболее изменчивый, контролируемый, но неуправляемый метеорологический фактор, ω2 – 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(ω1, ω2).
* Процесс моделирования, где M = {M1, M2, M3}: на основе данных мониторинга (P) осуществляется построение ГИС и 3D моделей (M1); нейро-нечетких моделей (M2), которые определяют причинно-следственные связи g{ω1, ω2, X}; алгоритм формирования моделей адаптационных сценариев (M3).
* Процесс поддержки принятия решений, где H = {H1, H2, H3}, 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 (С) 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.



Рисунок 3 – Контекстная диаграмма интеллектуальной системы поддержки принятия решений



Рисунок 4 – Декомпозиция контекстной диаграммы процесса интеллектуальной поддержки принятия решений

Для реализации функций ИСППР в ее состав введены следующие подсистемы:

* цифровая платформа (σцп), которая объединяет в себе базу знаний и фабрики данных, моделирования и развертывания, что позволяет передать сигнал H в управляющую подсистему;
* подсистема интеллектуального анализа данных (σиад), 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 (σмод), в которой на основе данных экомониторинга выполняется подготовка моделей, алгоритмов и программного обеспечения, необходимых для функционирования ИСППР;
* подсистема формирования сценариев управления (σсу), 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 5 – Схематичное представление интеллектуальной системы поддержки принятия решений в составе автоматизированной системы управления по адаптации сельскохозяйственных территорий в условиях динамики ПЭ

Введение внутренних контуров управления обеспечивает адаптивное изменение структуры и параметров автоматизированной системы управления. Интеллектуализация поддержки принятия решений достигается адекватной оценкой текущей и прогнозируемой концентрацией парниковых газов в приземном слое атмосферы рассматриваемой территории на основе компьютерных моделей.

**Заключение:** в результате представлены подходы к построению и организации функционирования автоматизированной системы управления адаптацией сельскохозяйственных территорий в условиях динамики ПЭ, которая позволит обеспечить увеличение урожайности, путем оперативного интеллектуального анализа данных мониторинга, в том числе на основе проведения комплексной оценки существующих и прогнозируемых параметров. Автоматизированная система управления с предлагаемой структурой может быть использовано как составляющая интеллектуальной сети управления сельскохозяйственными территориями области. Результаты ее работы, прежде всего, необходимы для обеспечения стабильного увеличения урожайности в условиях динамики ПЭ.

**Благодарности**

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 22-11-20016) «Разработка и исследование интеллектуальной системы поддержки принятия решений по адаптации сельскохозяйственных территорий в условиях динамики парникового эффекта».

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Константинов И. С., Иващук О. А. Автоматизированная система управления экологической безопасностью промышленно-транспортного комплекса //Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2009. – №. 8. – С. 44-49.
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 Х 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 искуственной 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 университет, г. Белгород

Аспирант кафедры «Информационных и робототехнических систем»

Тел.: +7(960)620-64-14

E-mail: goncharov\_dv@bsu.edu.ru