ISSN 1728-7936

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВЕСТНИК

ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина»

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

Научный журнал

Под редакцией Т.Б. Лещинской
О.А. Леонова
С.П. Казанцева

Выпуск 1(57)

Москва 2013

УДК 378.4(066):63+631.3.004.5+(631.171:621.31)
ББК 74.58+40.7
В387

Учредитель
ФГБОУ ВПО МГАУ

Журнал рекомендован экспертным советом ВАК для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук

Вестник

ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина»

Выпуск № 1(57)/2013

ISSN 1728-7936

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

Электротехнологии, электрификация и автоматизация сельского хозяйства

Техника и технологии агропромышленного комплекса

Технический сервис в агропромышленном комплексе

Рецензенты

Балабанов В.И.
доктор технических наук, профессор

Воронин Е.А.
доктор технических наук, профессор

Девянин С.Н.
доктор технических наук, профессор

Новиков В.С.
доктор технических наук, профессор

Рудобашта С.П.
доктор технических наук, профессор

Шмонин В.А.
доктор технических наук, профессор

Главный научный редактор
Сысоев А.М., ректор, доктор экономических наук

Зам. главного научного редактора
Левшин А.Г., доктор технических наук, профессор
Ерохин М.Н., академик Россельхозакадемии, доктор технических наук, профессор

Научные редакторы выпуска
Лещинская Т.Б., доктор технических наук, профессор
Казанцев С.П., доктор технических наук, профессор
Леонов О.А., доктор технических наук, профессор

Редакционная коллегия
Ананьин А.Д., кандидат технических наук, профессор
Загинайлов В.И., доктор технических наук, профессор
Ильюхин М.С., доктор технических наук, профессор
Казанцев С.П., доктор технических наук, профессор
Карпенков В.Ф., доктор технических наук, профессор
Коваленко В.П., доктор технических наук, профессор
Кушнарёв Л.И., доктор технических наук, профессор
Леонов О.А., доктор технических наук, профессор
Лещинская Т.Б., доктор технических наук, профессор
Нефёдов Б.А., доктор технических наук, профессор
Пучин Е.А., доктор технических наук, профессор
Самсонова Т.Б., директор издательского центра
Скороходов А.Н., доктор технических наук, профессор
Судник Ю.А., доктор технических наук, профессор
Фёдорова Л.В., доктор технических наук, профессор

УДК 378.4(066):63+631.3.004.5+(631.171:621.31)
ББК 74.58+40.7

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-36588 от 18.06.2009

Перепечатка материалов и использование их в любой форме, в том числе электронной, без предварительного письменного разрешения не допускается.

© ФГБОУ ВПО МГАУ, 2013

Содержание

Электротехнологии, электрификация и автоматизация сельского хозяйства

Сырых Н.Н., Кабдин Н.Е.
Характеристики надежности электрооборудования на основе предельных теорем теории вероятностей 7

Юсупова Г.Г., Юсупов Р.Х., Толмачева Т.А.
Обеспечение микробиологической безопасности плодово-ягодного сырья для хлебопекарной продукции воздействием энергией СВЧ-поля 12

Горин Д.А., Рудобашта С.П.
Аналитическое решение термической задачи процесса технологического СВЧ-нагрева пантов оленя 17

Андреев С.А., Петрова Е.А.
Исследование количественных характеристик процесса перемещения ионов озона электростатическим движителем 19

Муравлёва Е.А., Рудобашта С.П.
Эффективность электроснабжения фермерского дома на основе ветроэлектрической установки малой мощности 24

Цымбал А.А., Хорт Д.О.
Освоение принципов программирования урожая при автоматизированном проектировании агротехнологий возделывания черной смородины 27

Иванова З.Г., Макарова Н.Л.
Разработка устройства для выявления витковых замыканий в обмотках сухих силовых трансформаторов 30

Техника и технологии агропромышленного комплекса

Коваленко В.П., Улюкина Е.А., Новик А.С., Приваленко А.Н.
Контроль качества нефтепродуктов при эксплуатации сельскохозяйственной техники 32

Семейкин В.А., Дорохов А.С.
Методы оценки эффективности входного контроля качества 35

Сергованцев В.Т.
Управляемость движений в мире 38

Тойгамбаев С.К., Шмонин В.А., Теловов Н.К.
Математическая модель теории планирования экспериментов по использованию глубокорыхлителя 40

Вольф Н.В.
Изыскание схем и вспомогательных рабочих органов плугов для гладкой вспашки 45

Мартынова Н.К.
Выбор экологичного и экономичного метода обработки воды на объектах малой мощности в энергетике 47

Чурин Ю.Г.
Исследование процесса разделения сыпучих материалов по крупности на сепараторах вибрационного типа 50

Мочунова Н.А.
Выбор и расчет настройки регуляторов 52

Абдулмажидов Х.А.
Характеристики изменения размеров осушительных каналов 54

Васьков А.А., Краснящих К.А.
Развертывание поверхности отвала и лемеха на плоскость 57

Переверзев С.Ю.
Учет влияния нерастворенного в воде воздуха на переходные процессы
в напорных трубопроводах. 59

Бекишева Л.Б.
Генетический алгоритм как метод синтеза трубопроводных систем 61

Технический сервис в агропромышленном комплексе

Бойков В.Ю., Ахметзянов А.Ф.
Восстановление герметичности трубы системы выпуска отработавших газов автомобиля 65

Пастухов А.Г., Ефимцев А.В.
Радиальный зазор в карданных шарнирах трактора «Джон Дир» в эксплуатации 67

Кокорева О.Г.
Механизм микроструктурных изменений процесса упрочнения высокомарганцовистой стали
при статико-импульсной обработке. 70

Апатенко А.С., Владимирова Н.И.
Анализ систем ремонтно-профилактического обуслуживания технологических машин 72

Самордин А.Н.
Разработка процессной модели универсального дилерского центра АПК 76

Рефераты статей 80

Contents

Power technology, power supply and automation of agricultural

N.N. Syrykh, N.E. Kabdin
Electrical characteristics of reliability on the basis of limit theorems 7

G.G. Yusupova, R.Kh. Yusupov, T.A. Tolmacheva
Ensuring the microbiological safety of fruit raw material for bakery products influence the energy of the microwave field 12

D.A. Gorin, S.P. Rudobashta
The analytical solution of the thermal problem of deer antlers microwave heating process. 17

S.A. Andreev, E.A. Petrova
Study of the quantitative characteristics of the process of ion movement ozone electrostatic thruster 19

E.A. Muravleva, S.P. Rudobashta
Efficiency electricity farmhouse based wind power installation of low power. 24

A.A. Tsymbal, D.O. Khort
Mastering the principles of programming for automated design of crop cultivation agrotechnologies blackcurrant. 27

Z.G. Ivanova, N.L. Makarova
Development of a device for detecting faults in the windings interturn dry power transformers 30

Equipment and technologies of agroindustrial complex

V.P. Kovalenko, E.A. Ulyukina, A.S. Novik, A.N. Privalenko
Quality control of oil products at operation of agricultural machinery 32

V.A. Semeykin, A.S. Dorokhov
Methods for evaluating the effectiveness of incoming quality control. 35

V.T. Sergovantsev
Control of movements in the world. 38

S.K. Toygambayev, V.A. Shmonin, N.K. Telovov
A mathematical model of the theory of design of experiments on the use of chisel 40

N.V. Volf
Finding patterns and SWBs plows for a smooth plowing 45

N.K. Martynova
Choosing eco-friendly and economical method of water treatment facilities for low-power energy. 47

Yu.G. Churin
To study the question of the separation process of bulk materials by size on a vibration-type separators 50

N.A. Mochunova
Selection and calculation settings regulators 52

Kh.A. Abdulmazhidov
Features resizing drainage channels 54

A.A. Vaskov, K.A. Krasnyashchikh
Deploying and coulter blade surface on the plane 57

S.Yu. Pereversev
Accounting for the effects of insoluble in water, air pressure transients in pipelines 59

L.B. Bekisheva
Genetic algorithm as a method for the synthesis of pipeline systems 61

Technical service in agricultural complex

V.Yu. Boykov, A.F. Akhmetzyanov
Restoration of the tightness pipe exhaust system of a vehicle 65

A.V. Efimtsev, A.G. Pastukhov
Radial gap in cardan joints of tractor John Deere in operation 67

O.G. Kokoreva
The mechanism of the process of strengthening the microstructural changes at high manganese steel static- pulse treatment 70

A.V. Efimtsev, A.G. Pastukhov
Analysis systems repair and preventive maintenance of technological machines 72

A.N. Samordin
Development process model of universal dealership AIC 76

Brief reports 80

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 631.371:621.31:519.21

Н.Н. Сырых, *доктор техн. наук*
Н.Е. Кабдин, *канд. техн. наук*
Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

ХАРАКТЕРИСТИКИ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕОРЕМ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ

При решении многих практических задач по обеспечению требуемой надежности и эффективности функционирования электрооборудования в условиях АПК широко используются вероятностно-статистические модели, основной составляющей которых являются исчерпывающие характеристики случайных величин (например, наработка изделий до отказа и на отказ и др.) в виде их функций распределения $F(x)$ или законов надежности $\overline{F}(x)$. Получение этих характеристик в условиях эксплуатации должно осуществляться на основе сбора и обработки больших объемов исходной информации (до нескольких сот единиц [1]) выборочными методами. При этом к объему и формированию выборочного материала предъявляются определенные требования к репрезентативности таких выборок.

В условиях эксплуатации по объективным и субъективным причинам практически невозможно собрать необходимую исходную информацию в требуемом объеме и качестве, поэтому отсутствие информационного обеспечения многих предлагаемых решений (как показывает многочисленный опыт эксплуатации) является одной из основных причин, тормозящих их внедрение в производство.

Выход из создавшейся ситуации — использование метода статистического моделирования (метода Монте-Карло) для формирования выборочных исследований, приводящего к существенному сокращению объема и совершенствованию отбора экспериментального материала.

При выборочных исследованиях приходится решать две главные задачи:

1. Какое число единиц частичной (выборочной) совокупности (выборки) является достаточным, чтобы по ней можно делать надежные выводы об изучаемом случайном явлении (генеральной совокупности)?

2. Из каких именно единиц надо формировать (составлять) частичную совокупность, чтобы можно было бы рассматривать ее в качестве представительного образца данной общей (генеральной) совокупности?

Теоретической базой для решения сформулированных задач являются предельные теоремы теории вероятностей, образующие две группы теорем: закон больших чисел и центральную предельную теорему. Закон больших чисел имеет несколько математических форм, каждая из которых устанавливает ту или иную устойчивость средних характеристик при большом числе наблюдений над

случайными величинами, т. е. их приближение к определенным постоянным величинам (например, частоту события к вероятности события, среднего арифметического к математическому ожиданию).

Группа теорем центральной предельной теоремы касается уже не предельных значений характеристик случайной величины, а предельных законов распределения этих величин. При этом все формы центральной теоремы устанавливают условия, при которых возникает нормальный закон распределения (закон Гаусса) [1].

Таблица 1

Краткая таблица достаточно больших чисел [2]

$\Phi(x)$	0,85	0,90	0,95	0,99	0,995	0,999
x / ε	**1,44**	**1,64**	**1,96**	**2,58**	**2,81**	**3,29**
0,05	207	270	384	663	787	1082
0,04	323	422	600	1036	1231	1691
0,03	575	751	1067	1843	2188	30007
0,02	1295	1691	2400	4146	4924	6767
0,01	5180	6764	9603	16587	19699	27069

Ответ на первый поставленный вопрос можно получить, используя известные таблицы достаточно больших чисел, а на второй — применением таблиц случайных чисел и метода статистического моделирования Монте-Карло. В настоящей статье из-за ограниченного объема рассматривается методика решения первой задачи.

На основе применения предельных теорем теории вероятностей составлена краткая таблица достаточно больших чисел (табл. 1) с учетом основных факторов, влияющих на необходимый объем выборки n.

Таблица составлена с применением формулы

$$n > \frac{Pqx^2}{\varepsilon^2} = \frac{x^2}{4\varepsilon^2}. \qquad (1)$$

Приведенная таблица подтверждает необходимость получения больших объемов выборочных совокупностей n при установлении экспериментальным путем функций распределения (или законов распределения) случайных величин при обеспечении необходимой точности и надежности результатов. Однако более углубленный анализ выражения (1) с использованием различных форм предельных теорем теории вероятности и основных положений математической статистики показал возможности существенного снижения необходимого объема выборочных совокупностей (выборок), рекомендованного таблицей достаточно больших чисел (см. табл. 1). В настоящей статье предлагается разработанная авторами методика решения этой задачи.

В соответствии с теоретическими положениями теории вероятностей основной числовой характеристикой случайной величины, характеризующей «степень ее случайности» (рассеяние, разбросанность около математического ожидания m_x) является дисперсия D_x, среднее квадратичное отклонение $\sigma_x = +\sqrt{D_x}$ и коэффициент вариации (изменчивости) $V = \frac{\sigma_x}{m_x} 100\,\%$. Последний выражает рассеяние значений ряда распределения и тем самым рассеяние значений самой случайной величины. Реальный смысл обычно имеет мера изменчивости, не превышающая 50 %. Во всех иных случаях в качестве меры рассеяния лучше применять основное отклонение σ_x. Эти характеристики играют главенствующую роль при определении необходимого объема при выборочных исследованиях в формуле (1).

При составлении табл. 1 по формуле (1) фундаментальную роль сыграла одна математическая схема, изученная известным математиком Я. Бернулли. Суть этой схемы состоит в следующем. Производится последовательность испытаний, в каждом из которых вероятность наступления определенного события A одна и та же и равна P. Испытания предполагаются независимыми. Последовательность независимых испытаний с двумя исходами, впервые исследованная Я. Бернулли, носит название последовательности испытаний Бернулли. Частным случаем в этой схеме испытаний является введение понятия «индикатор события A»: случайная величина U равна единице, если в результате опыта событие A произошло, и нуль — если не произошло.

В этом случае ряд распределения случайной величины x имеет вид: $\begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 1-P & P \end{vmatrix}$ с числовыми характеристиками: математическим ожиданием, равным вероятности события $P(m_x = P)$, дисперсией, равной $D_x = Pq$, средним квадратичным отклонением $\sigma_x = +\sqrt{Pq}$, где $q = 1 - P$. Итак, математическое ожидание индикатора события A равно его вероятности P, а дисперсия — произведению вероятности его появления P на вероятность его непоявления q, т. е. $D_x = Pq$. Следовательно параметры P и q в формуле (1) являются не чем иным, как вероятностями появления и непоявления случайного события при отдельном испытании, а их произведение — дисперсией. В случае, когда $P = q = 0{,}5$ произведение Pq достигает своего наибольшего значения $Pq = 0{,}25$ или 1/4 в формуле (1). Этому случаю соответствует мера изменчивости,

равная 50 %: $V_x = \frac{\sigma_x}{2m_x} = 0{,}5$. Таким образом, отсутствие информации о значении предполагаемой меры изменчивости при планировании наблюдений в формуле (1) принят ее верхний предел (наихудший вариант), поэтому достаточно большие числа являются сильно завышенными.

Рассматриваемая математическая модель Бернулли применительно к индикатору события позволяет решать более сложные вопросы, в частности, вычисление вероятности того, что событие A наступает m раз в n независимых испытаниях двумя исходами:

$$P_n(m) = C_n^m P^m q^{n-m}, \quad (2)$$

где $C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!} P^m q^{n-m}$ — число сочетаний из n элементов по m, $0 < m < n$.

Совокупность чисел P_n, m ($m = 0, 1, ..., n$) образует распределение вероятностей случайной величины x — числа появлений события во всех n испытаниях схем Бернулли. Это распределение называется биномиальным распределением, зависящим от двух параметров n и P. Оно может быть аппроксимировано нормальной случайной величиной со средним значением nP и стандартным отклонением $\sqrt{nPq}$, если только выполняются условия: $nPq > 5$ и $0{,}1 \leqslant P \leqslant 0{,}9$. При условии $nPq > 25$ эту аппроксимацию можно применять независимо от значения P. Кроме того, в соответствии с центральной предельной теоремой Лапласа, если производится n независимых опытов, в каждом из которых событие A появляется с вероятностью P, то при больших n справедливо приближенное равенство:

$$P\left\{\alpha < \left(Y_n - nP\right)/\sqrt{nPq} < \beta\right\} \approx \Phi(\beta) - \Phi(\alpha), \quad (3)$$

где Y_n — число появлений событий A в n опытах; $q - P$; $\Phi(x)$ — функция Лапласа [2].

Учитывая, что $Y_n = \sum_{i=1}^{n} x_i$, где x_i — индикатор события A в i-м опыте, а случайная величина $Z_n = \left(Y_n - nP\right)/\sqrt{nPq}$, связанная с Y_n линейной зависимостью, имеются все основания для применения теоремы Ляпунова, утверждающей, что при $n \to \infty$ закон распределения случайной величины $Y_n = \sum_{i=1}^{n} x_i$ неограниченно приближается к нормальному [1].

Учитывая, что в соответствии с центральной предельной теоремой основные условия, при которых возникает нормальный закон распределения, на практике весьма часто выполняются, резонно использовать его характеристики при выборочных исследованиях, и в частности «правило трех сигма». В соответствии с этим правилом вероятность того, что случайная величина x, распределенная по нормальному закону с параметрами m_x, σ_x отклонится от своего математического ожидания m_x больше, чем на $3\sigma_x P\{|x - m_x|\} > 3\sigma_x$ равна 0,0027, т. е. применяя его, мы будем ошибаться приблизительно в трех случаях из 1000. При этом предельное значение меры изменчивости (коэффициент вариации составляет) $V = \frac{\sigma_x}{m_x} = \frac{1}{3}$, или 0,333. Напомним, что предельное значение этого коэффициента, принятое при формировании таблицы (1) составляет 0,50, т. е. в 1,5 раза больше.

Пользуясь неравенством Чебышева, оценим сверху вероятность того, что случайная величина x с любым законом распределения отклонится от своего математического ожидания не меньше, чем на $3\sigma_x$, получим

$$P\left\{\left|x - m_x\right| > \alpha\right\} \leq \frac{D_x}{\alpha^2} = \frac{\sigma_x^2}{3^2\sigma_x^2} = \frac{1}{9} = 0{,}111. \quad (4)$$

Таким образом, для любой случайной величины с любым законом распределения, пользуясь «правилом трех сигма», никогда не ошибаются больше, чем на 1/9 вероятности. Проверим это утверждение для некоторых законов распределения, применяя в каждом из них неравенство Чебышева при $\alpha = 3\sigma_x$ и сравнивая точное значение $P\{|x - m_x|\} \geqslant 3\sigma_x$ с его верхней оценкой 1/9.

Что касается нормального закона, эту процедуру уже выполняли — для этого закона только ничтожная доля значений случайной величины (менее 0,3 %) выходит за пределы интервала $m_x \pm 3\sigma_x$. Другим часто применяемым законом распределения на практике является экспоненциальный (показательный) закон с плотностью распределения:

$f(x) = \lambda\varepsilon^{-\lambda x}$ при $x > 0$ с характеристиками $m_x = \sigma_x = \frac{1}{\lambda}$.

Это распределение одно из наименее благоприятных для применения «правила трех сигма» (коэффициент вариации $V_x = \frac{\sigma_x}{m_x} = 1$). Вероятность невыполнения «правила трех сигма» такова:

$$P\left\{x > m_x + 3\sigma_x\right\} = P\left\{x > \frac{1}{\lambda} + \frac{3}{\lambda}\right\} =$$

$$= P\left\{x > \frac{4}{\lambda}\right\} = 1 - F\left(\frac{4}{\lambda}\right) = 1 - \left(1 - \frac{e^{-4}\lambda}{\lambda}\right) = 0{,}0183.$$

где $F(x) = 1 - \varepsilon^{-\lambda x}$ — функция распределения случайной величины x.

Как видим, для показательного закона вероятность невыполнения «правила трех сигма» рав-

на 0,0183, что значительно меньше, чем 1/9 = 0,111, т. е. менее двух процентов случаев значения случайной величины x выходят за пределы интервала $m_x + 3\sigma_x$.

Большой популярностью в решении технических задач, связанных с износовыми отказами оборудования, пользуется закон Вейбулла–Гнеденко с двумя параметрами: масштаба a и формы кривой b. Показатели степени разбросанности случайной величины с законом распределения Вейбулла–Гнеденко зависят от параметра. Применение неравенства Чебышева для решения данной задачи связано со сложными математическими выкладками, поэтому следует ограничиться двумя частными случаями этого распределения: при $b = 1$ и $b = 2$.

Основные соотношения, характеризующие это распределение [3, 4]:

$$F(x) = 1 - e^{-(\frac{x}{a})^b}; m_x = aK_b; K_b = \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right); \sigma_x = aC_b;$$

$$V_x = \frac{\sigma_x}{m_x} = \frac{C_b}{K_b}; C_b^2 = \Gamma\left(1 + \frac{2}{b}\right) - K_b^2, \qquad (5)$$

где $\Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right)$ — гамма-функция (вычисляется по специальным таблицам [3, 4].

Таблица 2

Таблица значений интеграла вероятностей $\Phi(x)$

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	00000	00798	01596	02393	03191	03988	04784	05581	06376	07171
0,1	07966	08759	09552	10343	11134	11924	12712	13499	14285	15069
0,2	15852	16633	17413	18191	18967	19741	20514	21284	22052	22818
0,3	235	24344	25103	25860	26614	27368	28115	28862	29605	30346
0,4	31084	31819	32551	33280	34006	34729	35448	36164	36877	37585
0,5	38292	38995	39694	40389	41080	41768	42452	43132	43809	44481
0,6	45169	45814	46474	47131	47783	48431	49075	49714	50350	50981
0,7	51607	52230	52848	53761	54070	54675	55275	55870	50461	57047
0,8	57629	58206	58778	59346	59909	60408	61021	61570	62114	62653
0,9	63188	63718	64243	64763	65278	65789	66294	66795	67291	67783
1,0	68269	68750	69227	69699	70166	70628	71086	71538	71986	72429
1,1	72867	73300	73729	74152	74571	74986	75395	75800	76200	76595
1,2	76986	77372	77754	78130	78502	78870	79233	79592	79945	80295
1,3	80640	80980	81316	81648	81975	82298	82617	82931	83241	83547
1,4	83849	84146	84439	84728	85013	85294	85574	85844	86113	86378
1,5	86639	86896	87149	87398	87644	87886	88124	88358	88589	88817
1,6	89040	89260	89477	89690	89899	90106	90309	90508	90704	90897
1,7	91087	91273	91457	91637	91814	91988	92159	92327	92492	92655
1,8	92814	92970	93124	93275	93423	93569	93711	93852	93989	94124
1,9	94257	94387	94514	94639	94762	94882	95000	95116	95230	95341
2,0	95450	95557	95662	95764	65865	95964	96060	96155	96247	96338
2,1	96427	96514	96599	96683	96765	96844	96923	96999	97074	97148
2,2	97219	97289	97358	97425	97491	97555	97618	97679	97739	97798
2,3	97855	97911	97966	98019	98072	98123	98172	98221	98269	98315
2,4	98360	98405	98448	98490	98531	98571	98611	98649	98686	98723
2,5	98758	98793	98826	98859	98891	98923	98953	98983	99012	99040
2,6	99068	99095	99121	99146	99171	99195	99219	99241	99264	99284
2,7	99307	99327	99347	99367	99386	99404	99422	99439	99456	99473
2,8	99489	99505	99520	99535	99549	99563	99576	99590	99602	99615
2,9	99627	99639	99650	99661	99672	99682	99692	99702	99712	99721
3,0	99730	99739	99747	99755	99763	99771	99779	99786	99793	99800
3,1	99806	99813	99819	99825	99831	99837	99842	99848	99853	99858
3,2	99863	99867	99872	99876	99880	99885	99889	99872	99896	99900
3,4	99933	99935	99937	99940	99942	99944	99946	99948	99950	99952
3,5	99953	99955	99957	99958	99960	99961	99963	99964	99966	99967

Примечание. В таблице показаны десятичные знаки, а нуль целых опущен.

Пример при коэффициенте формы кривой Вейбулла–Гнеденко $b = 1$ (экспоненциальное распределение) рассмотрен выше. При $b = 2$ распределение Вейбулла–Гнеденко превращается в распределение Релея с параметрами: $m_x = 0{,}8862a$; $\sigma_x = 0{,}4634a$; $V_x = 0{,}5229$.

Применяя неравенства Чебышева, получим $m_x + 3\sigma_x = 2{,}2764a$; $e^{-2{,}2764^2} = e^{-5{,}1820} \approx 0{,}007$, т. е. для закона Вейбулла–Гнеденко вероятность невыполнения «правила трех сигма» равно 0,007, что еще меньше, чем для экспоненциального закона. Очевидно, что и при $b > 2$, это правило, тем не менее, будет выполняться.

Из формулы (1) и табл. 1 видно, что на величину объема n выборки серьезно оказывает влияние допустимая ошибка ε которая при инженерных исследованиях устанавливается обычно в пределах $\varepsilon = (0{,}05...0{,}10)$.

Величина допустимой ошибки ε оценивает точность, а функция $\Phi(x)$ — надежность («степень уверенности» или «меру риска») при замене математического ожидания случайной величины ее средним арифметическим значением при ограниченном объеме выборки n (табл. 2).

Функция $\Phi(x)$ представляет собой интеграл вероятности, определяющий вероятность того, что значения отклонения от среднего (или математического ожидания m_x) случайной величины x, выраженного в единицах среднего квадратического отклонения $\sigma_x = \left(\frac{x - m_x}{\sigma_x}\right)$, будет находиться внутри определенных пределов от ($-x$ до $+x$):

$$\Phi(x) = P\left\{-x < \frac{x - m_x}{\sigma_x} < +x\right\}. \quad (6)$$

Вычисление значений интеграла вероятностей осуществляется по таблице от $x = 0$ до $x = 3{,}5$.

Например:

$$P\{-\sigma_x < (x - m_x) < +\sigma_x\} = 0{,}683,$$

$$P\{-2\sigma_x < (x - m_x) < +2\sigma_x\} = 0{,}954,$$

$$P\{-3\sigma_x < (x - m_x) < +3\sigma_x\} = 0{,}997.$$

Таким образом, значения случайной величины, отклоняющейся в обе стороны от среднего значения не более чем на величину σ_x, встречаются в нормальной совокупности в 683 случаях из 1000, в пределах удвоенного значения σ_x в 954 случаях из 1000, а в трех — в 997 случаях.

В результате выполненных исследований предлагается следующая формула для определения необходимого объема выборочной совокупности (выборки) с учетом изложенных выше факторов:

$$n = \frac{V_x^2 x^2}{\varepsilon^2}. \quad (7)$$

Составление таблицы достаточно больших чисел подобно табл. 1 с тремя параметрами V_x^2, x^2 и ε^2 в различных сочетаниях достаточно сложно и не наглядно, поэтому предложено сначала составить предварительно таблицу для вычисления числителя формулы (6) $y^2 = V_x^2 x^2$, а затем уже окончательную таблицу по формуле $n = \frac{y^2}{\varepsilon^2}$.

Процедура вычисления объема выборки по изложенной методике видна из табл. 3. Здесь возможны два случая при заданных параметрах x и ε с неизвестным параметром V_x принимается его верхнее значение 0,333 ($V_x^2 = 0{,}111$). Если имеется хотя небольшая выборка, по которой можно вычислить приближенно $V_x < 0{,}333$, то это значение также можно использовать. При этом при одинаковых параметрах x и ε объем выборки можно уменьшить.

Пример определения объема выборки с использованием табл. 3.

Определить необходимый объем выборки при следующих исходных данных:

$\varepsilon = 0{,}05$ (5 %); $\varepsilon^2 = 0{,}0025$; $\Phi(x) = 0{,}95$; $x = 1{,}96$ ($x^2 = 3{,}84$),

Таблица 3

Объем выборки n по формуле (7)

$n = \frac{y^2}{\varepsilon^2}$					
y^2 \ ε^2	**0,01**	**0,00563**	**0,0025**	**0,0009**	**Примечание**
$V_x^2 = 0{,}111$					$V_x = 33{,}3\,\%$
0,2986	30	53	119	332	
0,4262	43	76	170	474	
0,7359	74	131	294	818	
$V_x^2 = 0{,}090$					$V_x = 30\,\%$
0,2421	24	43	97	269	
0,3456	35	61	138	384	
0,5967	60	106	239	663	
$V_x^2 = 0{,}0625$					$V_x = 25\,\%$
0,1684	17	30	67	187	
0,2400	24	38	96	267	
0,4144	41	74	166	460	
$V_x^2 = 0{,}040$					$V_x = 20\,\%$
0,1076	11	19	43	120	
0,1536	15	27	61	171	
0,2663	27	47	107	296	

Таблица 4

Значения числителя в формуле (7)

V_x^2 \ x^2	$\Phi(x) = 0{,}90$ 2,690	$\Phi(x) = 0{,}95$ 3,8416	$\Phi(x) = 0{,}99$ 6,6564	$V_x = \frac{\sigma_x}{m_x} 100\ \%$
0,111	0,2986	0,4262	0,7359	33,3
0,090	0,2421	0,3456	0,5967	30,0
0,0625	0,1684	0,2400	0,4144	25,0
0,040	0,1076	0,1536	0,2663	20,0

V_x — неизвестный параметр, принимаемый значение 0,333 ($V_x^2 = 0{,}111$).

Решение. По табл. 4 для $V_x^2 = 0{,}111$ и $x^2 = 3{,}84$. $y^2 = 0{,}4262$.

По табл. 3 при $y^2 = 0{,}4262$ и $\varepsilon^2 = 0{,}0025$, $n = 170$.

2. Если известна (хотя бы приблизительно) возможная величина изменчивости случайной величины, например $V_x = 20\ \%$ ($V_x^2 = 0{,}040$), то при $\varepsilon = 5\ \%$ ($\varepsilon^2 = 0{,}0025$), то $y^2 = 0{,}1536$, а $n = 61$, а при тех же условиях, но допустимая ошибка $\varepsilon = 10\ \%$ ($\varepsilon^2 = 0{,}01$), то n равняется всего 15 ед.

Таким образом, из анализа табл. 3 и 4 видно, что объем выборки существенно зависит от «качественного» состава формирования выборки от значения дисперсии случайных величин, включаемых в объем выборки. Формирование выборки с использованием метода Монте-Карло позволит дополнительно уменьшить необходимый объем выборки n.

Список литературы

1. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. — М.: Наука, 1988. — 480 с.

2. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. — М.: Физматгиз, 1961. — 480 с.

3. Сырых Н.Н., Кабдин Н.Е. Теоретические основы эксплуатации электрооборудования. — М.: Агробизнесцентр, 2007. — 514 с.

4. Шор Я.Б., Кузьмин Ф.И. Таблицы для анализа и контроля надежности. — М.: Радио, 1968. — 288 с.

УДК 664.854:634.22+664.864.039.5:634.22

Г.Г. Юсупова, *доктор с.-х. наук*
Р.Х. Юсупов, *доктор техн. наук*
Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина
Т.А. Толмачева, *канд. биол. наук*
Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск

ОБЕСПЕЧЕНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПЛОДОВО-ЯГОДНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ХЛЕБОПЕКАРНОЙ ПРОДУКЦИИ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭНЕРГИЕЙ СВЧ-ПОЛЯ

В современных условиях производство хлебобулочных и кондитерских изделий нуждается в использовании высококачественного экологичного сырья, совершенных технологий и оборудования, обеспечивающих максимальную сохранность полезных и питательных веществ, потребительские свойства изделий, повышение сроков их хранения.

Анализ применяемого сырья показал необходимость применения научно обоснованных методов воздействия и подбора дополнительного сырья с целью регулирования свойств, качества и безопасности продуктов питания из растительного сырья [1].

В производстве хлебобулочных и кондитерских изделий в качестве дополнительного сырья используется курага. Как всякое растительное сырье, курага подвержена микробиологическим и физиологическим процессам, вызывающим ее порчу.

Задача сохранения плодов и продуктов их переработки сводится к регулированию жизненных процессов, лежащих в основе появления порчи.

К порче плодов приводят как биологические процессы, протекающие в сырье, так и жизнедеятельность микроорганизмов. Изменяя условия среды, воздействуя на сырье или на микроорганизмы физическими, биологическими и химическими факторами, можно подавить жизнедеятельность возбудителей порчи и сохранить сырье.

В последние годы нашли широкое применение физические методы [2]. К ним относят: термическую обработку, стерилизацию ультразвуком, обработку токами высокой и сверхвысокой частоты, ультрафиолетовым, красным и синим светом, спектрами лазерного и ионизирующего излучений.

Авторами были проведены исследования по обеззараживанию сухих плодов кураги электротермическим воздействием энергии СВЧ-поля.

В процессе исследований осуществлены лабораторные и лабораторно-производственные эксперименты. В результате изучено влияние энергии СВЧ-поля на возбудителей плесени — грибы родов Penicillium и Mucor и общее микробное число (ОМЧ).

Для оптимизации объема экспериментальных исследований был использован метод активного планирования эксперимента, позволяющий получить уравнение регрессии, связывающее режимы воздействия на плоды сухофрукта и показатели эффективности обеззараживания и качества продукции.

Реакция сапрофитной микрофлоры на воздействие энергией СВЧ-поля изучалась на сухих плодах кураги длительного хранения. Схема опыта включает 11 вариантов, в том числе двух контрольных: промывание сухофруктов стерильной водой, в дальнейшем именуемый — контроль и стандарт по существующей технологии (отваривание плодов в сахарном сиропе), далее именуемый — контроль-стандарт.

Эксперименты проводились в трехкратной повторности. Допустимая численность плесневых грибов сухофруктов составляет 100 КОЕ/1г (СанПиН 2.3.2.1078–2001).

Начальный уровень обсемененности кураги плесневыми грибами рода Penicillium определяли по контролю и контролю-стандарту. Зараженность контроля составила $2{,}1 \cdot 10^3$ КОЕ/г, в то время как зараженность в контроле-стандарте — 10 КОЕ/г.

Полученные при исследовании результаты представлены в табл. 1.

Анализ результатов показал, что эффект полного обеззараживания (варианты № 1, 5–7) плодов кураги происходит при температуре нагрева до 85...100 °С, экспозиции 60...90 с и скорости нагрева 0,4...0,8 °С/с. Органолептические показатели качества в указанных вариантах либо ухудшаются, либо соответствуют контролю.

При максимальных режимах обеззараживания (экспозиция 90 с, скорость нагрева 0,8 °С/с, температура 100 °С), наблюдается полное уничтожение грибной инфекции, но плоды кураги «карамелезуются» и появляется вкус сгоревшей ягоды.

Воздействие минимальными режимами обеззараживания энергией СВЧ-поля (температура нагрева плодов 40 °С, экспозиция 30 с, скорость нагрева 0,4 °С/с) происходит снижение зараженности в два раза. Органолептические показатели соответствуют контролю.

Нагрев плодов кураги до температуры 65...70 °С при экспозиции 30 с и 90 с соответственно приводит к сокращению численности микроорганизмов.

Нагрев плодов кураги от 65 до 70 °С снижает численность микроорганизмов от 2 до 20 раз. При этом вкус становится кисло-сладким, а цвет не из-

Таблица 1

Влияние энергии СВЧ-поля на численность грибов рода Penicillium на плодах кураги

Вариант	Режим			Зараженность КОЕ/г; $1 \cdot 10^3$				Органолептический показатель
	Время обработки, с	Скорость нагрева v, °С/с	Нагрев t, °С	I	II	III	Среднее значение	
1	90	0,8	100	0	0	0	0	Окраска потемнела, плоды карамелезовались; вкус сгоревшей ягоды
2	30	0,8	80	1	0	0	0,33	Плоды подгорели; «карамелезовались»; терпкий вкус
3	90	0,4	70	2	2	2	2	Окраска плодов обесцветилась; вкус кисло-сладкий
4	30	0,4	40	11	11	12	11,3	Вкус и цвет плодов соответствуют контролю
5	60	0,8	90	0	0	0	0	Окраска потемнела; плоды «карамелезовались»; вкус медовый
6	60	0,4	70	0	0	0	0	Цвет плодов светлее контроля; вкус свежей ягоды
7	90	0,6	85	0	0	0	0	Цвет плодов соответствует контролю; вкус — кисло-сладкий, переспевшей ягоды
8	30	0,6	65	12	13	11	12	Цвет плодов соответствует контролю; вкус кисло-сладкий, перезревшей ягоды
9	60	0,6	75	1	0	1	0,67	Цвет плодов соответствует контролю; вкус сладкий с привкусом меда
10	Контроль			18	22	25	21,7	Цвет плодов желто-коричневый; вкус сладкий, присущий сушеной кураге
11	Контроль, отвар в сахарном сиропе			0	0	0,3	0,1	Цвет плодов желто-коричневый; вкус очень сладкий, присущий отваренной кураге

меняется. Дальнейшее повышение температуры нагрева плодов до 75...80 °С приводит к снижению численности грибов рода Penicillium до безопасных пределов. Необходимо отметить, что в варианте при температуре нагрева плодов кураги 80 °С органолептические показатели ухудшаются (плоды подгорают и имеют терпкий, горьковатый вкус), при температуре нагрева 75 °С цвет плодов соответствует контролю, вкус улучшается, становится сладким с привкусом меда.

Анализ результатов, представленных в табл. 1, показал, что не все варианты обработки энергией СВЧ-поля приемлемы для обеззараживания сухих плодов кураги, так как в некоторых из вариантов вместе с обеззараживанием происходит ухудшение органолептических показателей, что не позволяет дальнейшее применение кураги в пищу. Эффективными режимами обработки плодов кураги методом электротермического воздействия энергией СВЧ-поля являются скорость нагрева 0,6 °С/с, экспозиция 60 с, температура нагрева 75 °С.

По результатам проведенных исследований и данным регрессионного и дисперсионного анализов получено уравнение

$$Y_4 = 1{,}5 - 1{,}6x_1 - 4{,}2x_2 - 1{,}9x_1^2 + \\ + 4{,}0x_2^2 + 2{,}2x_1x_2, \qquad (1)$$

где Y_4 — рассматриваемая зараженность кураги; x_1 — время нагрева; x_2 –скорость нагрева.

Полученное уравнение позволило рассчитать эффективные режимы обработки сухих плодов кураги. При анализе полученных результатов сделан вывод, что область эффективных режимов находится в пределах: экспозиция 60...90 с; скорость нагрева 0,55...0,8 °С/с. Температура нагрева при соответствующих режимах варьирует от 60 до 85 °С. При скорости нагрева 0,6...0,7 °С/с, экспозиции 30...90 с и температуре нагрева 70...75 °С происходит обеззараживание плодов до пределов ПДК (100 КОЕ/г), в контроле зараженность составляет $2{,}1 \cdot 10^3$ КОЕ/г.

Полное обезвреживание грибов рода Penicillium наступает при скорости нагрева 0,56...0,62 °С/с, экспозиции 75...90 с и температуре нагрева 75 °С.

Зараженность грибами рода Mucor плодов кураги в контроле составила $1{,}7 \cdot 10^3$ КОЕ/г, в контроле-стандарте — 0 КОЕ/г (табл. 2). При воздействии энергией СВЧ-поля на плоды кураги полное обеззараживание от плесневых грибов рода Mucor происходит при скорости нагрева 0,6...0,8 °С/с с нагревом 75...100 °С и экспозиции 60...90 с.

При максимальных режимах влияния СВЧ-поля (вариант № 1) при скорости нагрева 0,8 °С/с, экспозиции 90 с и температуре нагрева 100 °С происходит полное уничтожение спор данного рода грибов, цвет плодов становится темнее, карамелезуется и появляется вкус сгоревшей ягоды.

Необходимо отметить, что в вариантах при минимальном режиме экспозиции 30 с со скоростью

Таблица 2

Влияние СВЧ-энергии на численность грибов рода Mucor на кураге

Вариант	Режим			Зараженность КОЕ/г; 1×10^{-2}				Органолептический показатель
	Время обработки, с	Скорость нагрева v, °С/с	Нагрев t, °С	I	II	III	Среднее значение	
1	90	0,8	100	0	0	0	0	Окраска потемнела, плоды карамелезовались; вкус сгоревшей ягоды
2	30	0,8	80	0	1	0	0,33	Плоды подгорели; карамелезовались; терпкий вкус
3	90	0,4	70	2	0	0	0,7	Окраска плодов обесцветилась; вкус кисло-сладкий
4	30	0,4	40	20	18	17	18,3	Вкус и цвет плодов соответствуют контролю
5	60	0,8	90	0	0	0	0	Окраска потемнела; плоды карамелезовались; вкус медовый
6	60	0,4	70	3	3	3	3	Цвет светлее контроля, вкус свежей ягоды
7	90	0,6	85	0	0	0	0	Цвет соответствует контролю, вкус кисло-сладкий, переспевшей ягоды
8	30	0,6	65	19	18	18	18,3	Цвет соответствует контролю, вкус кисло-сладкий, перезревшей ягоды
9	60	0,6	75	0	0	0	0	Глянцевый, цвет соответствует контролю, вкус ладкий с привкусом меда
10	Контроль			18	16	19	17,7	Цвет желто-коричневый, вкус сладкий присущий сушеной кураге
11	Контроль, отварен.в сахарном сиропе			0,7	0,7	0,7	0,7	Глянцевый, желто-коричневый, приторно-сладкий

нагрева 0,4...0,6 °С/с и нагреве 40...60 °С происходит стимулирование роста и развития грибной инфекции и зараженность плодов становится выше, чем в контроле и составляет 1830 КОЕ/г. Органолептические показатели кураги остаются на уровне контроля.

В варианте № 7, где принят верхний уровень параметров времени обработки 90 с и средний уровень скорости нагрева 0,6 °С/с при температуре нагрева 85 °С, происходит деконтаминация данного вида инфекции. Вкус становится кисло-сладким, цвет соответствует контролю.

При параметрах с режимами: скорость нагрева 0,4 °С/с, экспозиция 60 с, температура 70 °С (вариант 6) под воздействием СВЧ-энергии происходит обеззараживание грибов рода Mucor до $3 \cdot 10^2$ КОЕ/г, число колоний уменьшается по сравнению с контролем в среднем в 6 раз.

При режимах с максимальной скоростью нагрева 0,8 °С/с, температурой нагрева 80...90 °С и экспозицией 30...60 с происходит деконтаминация плодов кураги.

В варианте с параметрами: скорость нагрева 0,6 °С/с, время обработки 60 с, температура нагрева 75 °С происходит полное уничтожение данной инфекции, органолептические показатели и потребительские свойства плодов кураги улучшаются по сравнению с контролем.

Полученные результаты по деконтаминации плодов кураги от плесневых грибов рода Mucor показывают, что наиболее эффективными являются параметры: экспозиция 60 с, скорость нагрева 0,6 °С/с при нагреве 75 °С. По результатам опыта было получено уравнение регрессии:

$$Y_5 = 2{,}6 - 3{,}5x_1 - 6{,}2x_2 - \\ - 2{,}4x_1^2 + 5{,}3x_2^2 + 4{,}3x_1x_2, \quad (2)$$

где Y_5 — зараженность кураги возбудителем рода Mucor.

Анализ уравнения (2) показывает, что под влиянием энергии СВЧ-поля процесс обезвреживания грибами рода Mucor происходит при минимальных режимах воздействия. При максимальной экспозиции происходит интенсивное обезвреживание. При экспозиции 90 с и скорости нагрева 0,48 °С/с наблюдается полное их уничтожение.

При экспозиции 30...75 с происходит снижение до предельно допустимых концентраций, либо полное уничтожение грибов рода Mucor.

Обеззараживающими являются режимы: скорость нагрева 0,6 °С/с, экспозиция 60 с, температура нагрева 80 °С.

Из результатов экспериментов, отраженных на графике (рис. 2), следует, что с увеличением времени обработки и скорости нагрева происходит постепенное снижение зараженности плодов кураги грибами рода Mucor.

На плодах кураги установлено общее микробное заражение.

В контроле зараженность плодов составила $4{,}8 \cdot 10^2$ КОЕ/г, в контроле-стандарте — $1{,}3 \cdot 10^2$ КОЕ/г.

В результате анализа полученных экспериментальных данных установлено снижение показателя ОМЧ (общее микробное число). Общее микробное заражение на плодах кураги снижается при возрастании значений режимных параметров. Полное снижение показателя ОМЧ наблюдается в режи-

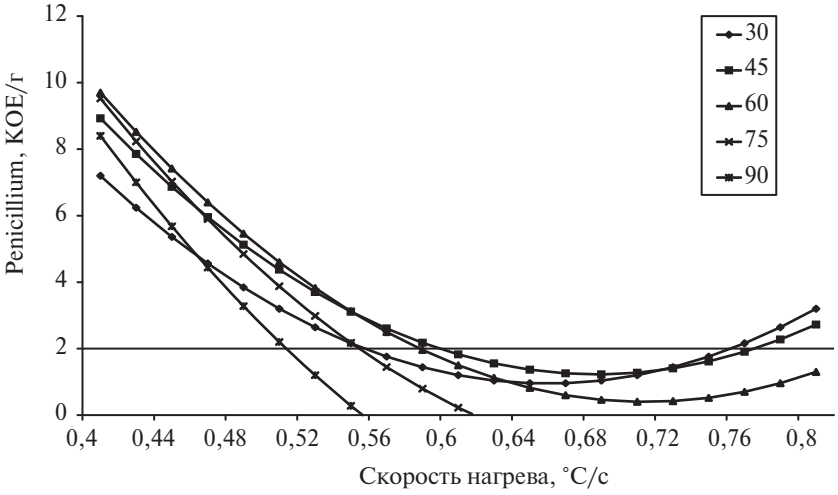


Рис. 1. **Влияние энергии СВЧ-поля на грибы рода Penicillium на плодах кураги**

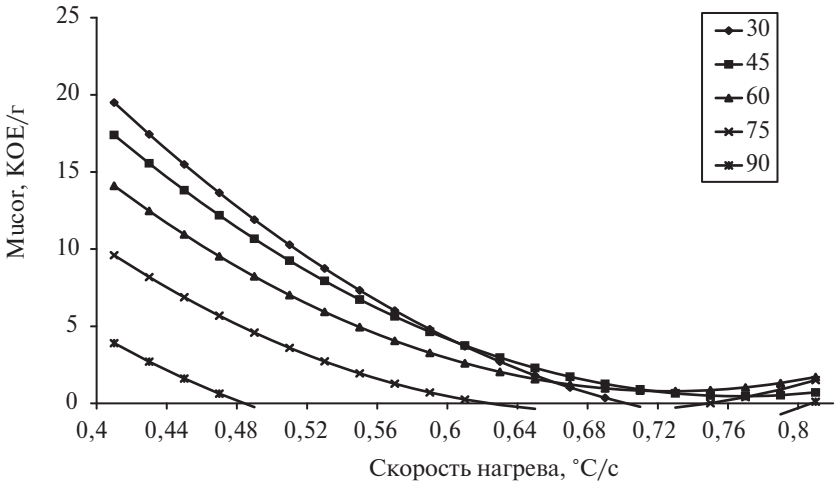


Рис. 2. **Влияние энергии СВЧ-поля на грибы рода Mucor на плодах кураги**

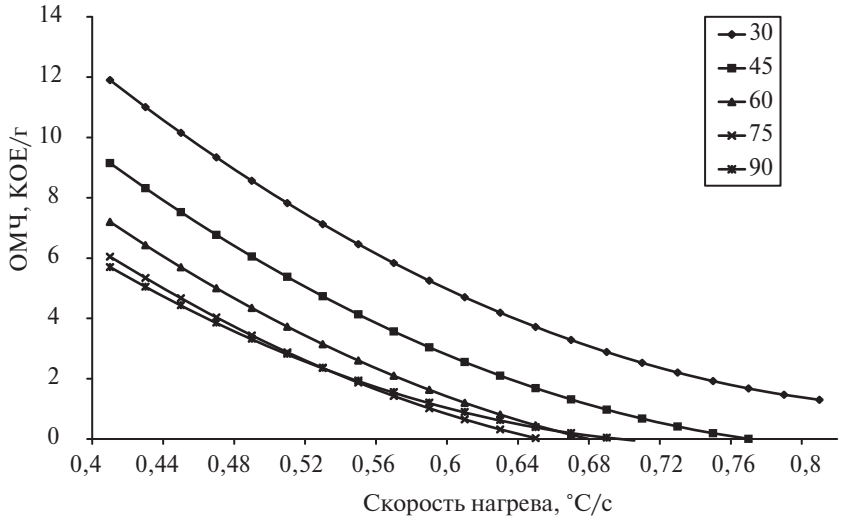


Рис. 3. **Влияние энергии СВЧ-поля на общее микробное заражение плодов кураги**

Из анализа уравнения (3) следует, что полное уничтожение микроорганизмов (ОМЧ) на плодах кураги происходит при скорости нагрева 0,8 °С/с, экспозиции 60...90 с.

Обезвреживание бактерий до норм предельной концентрации 100 КОЕ/г происходит в диапазоне обработки времени от 60...90 с, скорости нагрева 0,6 °С/с.

При минимальных уровнях обработки: скорости нагрева 0,4 °С/с, экспозиции 30 с, температуре нагрева 40 °С обеззараживание происходит частично и равно $1{,}1 \cdot 10^2$ КОЕ/г, что превышает предельно допустимые концентрации в четыре раза.

мах с параметрами: экспозиция 60...90 с, скорость нагрева 0,8 °С/с, температура 90...100 °С. При этом снижаются органолептические показатели. Плоды темнеют, карамелезуются, приобретают привкус сгоревшей ягоды.

Снижение зараженности показателей ОМЧ наблюдается во всех вариантах. При минимальных режимах экспозиции 30 с скорости нагрева 0,4 °С/с и температуре нагрева 40 °С/с происходит снижение до $4{,}7 \cdot 10^3$ КОЕ/г, что ниже контроля. Органолептические показатели остаются на уровне контроля.

При параметрах с режимами: экспозиция 60...90 с, скорость нагрева 0,6 °С/с, температура нагрева 75...85 °С наблюдается снижение показателя ОМЧ до 100 КОЕ/г (варианты № 7, 9).

Но при температуре нагрева 85 °С органолептические показатели практически остаются на уровне контроля. При температуре нагрева 75 °С цвет плодов кураги остается на уровне контроля, вкус улучшается, плоды становятся сладкими, с привкусом меда.

Проанализировав табличные данные, следует, что оптимальными режимами, снижающими ОМЧ до предельно допустимых норм, являются экспозиция 60 с, скорость нагрева 0,6 °С/с и разогрев 75 °С.

Для определения корреляционных зависимостей между выходными параметрами и исследуемыми факторами по результатам исследований и применения матрицы получено адекватное уравнение регрессии:

$$Y_6 = 11x_1^2 - 4{,}3 - 10x_1 - 7{,}8x_2 + \\ + 10{,}3x_2^2 + 5x_1x_2, \qquad (3)$$

где Y_6 — общая микробная зараженность.

Обработка плодов кураги при параметрах скорости нагрева от 0,4, до 0,6 °С/с с увеличением экспозиции снижает численность микроорганизмов, но при этом полного обеззараживания не происходит.

Обработка в диапазоне времени 84....90 с при тех же значениях скорости нагрева существенно снижает зараженность плодов кураги микроорганизмами, но при этом показатель ОМЧ превышает нормы предельно допустимой концентрации микроорганизмов в 2–3 раза. Из всего следует, что указанные уровни обработки не эффективны, поскольку общее микробное число не снижается.

Обработка плодов кураги при скорости нагрева 0,7...0,8 °С/с и экспозиции 44...55 с сводит общую зараженность микроорганизмами к нулю. Указанные режимы являются эффективными для снижения численности различных групп микроорганизмов и повышения качества сухих плодов кураги, поэтому могут быть рекомендованы в производство.

Таким образом, полученные результаты подтверждают эффективность обработки энергией СВЧ-поля, повышая при этом качество и микробиологическую безопасность сырья для хлебобулочных изделий.

Список литературы

1. Юсупова Г.Г., Косован А.П., Юсупов Р.Х. Микробиологический контроль пищевых продуктов из зерна. — М.: ОАО «Московская типография № 2», 2010. — 422 с.

2. Юсупов Р.Х., Толмачёва Т.А., Юсупова Г.Г. Сырье для хлебопекарного и кондитерского производств и методы его улучшения. — Челябинск: Челяб. ин-т (ф-л) ГОУ ВПО «РГТЭУ», 2004. — 156 с.

УДК 636.294.036.5

Д.А. Горин
С.П. Рудобашта, *доктор техн. наук*
Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ПРОЦЕССА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СВЧ-НАГРЕВА ПАНТОВ ОЛЕНЯ

Продукция пантового оленеводства хорошо известна своими целебными свойствами и зарекомендовала себя в России и ряде крупных стран Азиатского региона (Китай, Япония, Корея). Наиболее популярным сырьем отрасли пантового оленеводства являются панты. Процесс их заготовки для дальнейшей переработки подразумевает консервацию (сушку), одной из стадий которой является нагрев. Из-за высокой термолабильности исходного материала к технологическому процессу сушки предъявляются жесткие требования. Таким образом, каждая из стадий сушки должна быть детально изучена с целью определения наиболее подходящих параметров сушильного оборудования. В качестве способа нагрева был выбран СВЧ-энергоподвод, так как он зарекомендовал себя как эффективный и перспективный способ обработки биологически активных материалов.

Математическое моделирование позволяет получить аналитическое решение задачи СВЧ-нагрева, что в дальнейшем значительно упростит задачу определения оптимальных параметров и условий протекания процесса. В целях упрощения построения математической модели нагрева панта пант был представлен в виде двухслойного цилиндра (внутренняя часть и слой кожного покрова). Ранее авторы сформулировали задачу СВЧ-нагрева панта [1]. Определение температурных полей при СВЧ-нагреве пантов описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\left.\begin{aligned}&\frac{\partial T_1(\tau,r)}{\partial\tau}=a_1\nabla^2T_1+\frac{q_1}{\rho_1c_1},\quad 0\le r\le R_1,\tau>0,\\&T_1(0,r)=T_{01},\quad 0\le r\le R_1,\tau=0,\\&\frac{\partial T_1(\tau,0)}{\partial r}=0,\quad \tau>0,\end{aligned}\right\}\quad(1)$$

$$\left.\begin{aligned}&\frac{\partial T_2(\tau,r)}{\partial\tau}=a_2\nabla^2T_2+\frac{q_2}{\rho_2c_2},\quad R_1<r<R_2,\tau>0,\\&T_2(0,r)=T_{02},\quad R_1\le r\le R_2,\\&T_2(\tau,R_2)+\frac{\lambda_2}{\alpha}\frac{\partial T_2(\tau,R_2)}{\partial r}=T_c,\quad r=R_2,\tau>0,\end{aligned}\right\}(2)$$

$$\left.\begin{aligned}&\lambda_1\frac{\partial T_1(\tau,R_1)}{\partial r}=\lambda_2\frac{\partial T_2(\tau,R_1)}{\partial r},\quad r=R_1,\tau>0,\\&T_1(\tau,R_1)=T_2(\tau,R_1),\quad r=R_1,\tau>0.\end{aligned}\right\}\quad(3)$$

Рассмотрим аналитическое решение поставленной задачи. Конкретный вид решения систем (1)–(3) будет определяться функцией распределения источников теплоты q как вдоль линейных размеров объекта, так и во времени. Для начала принимаем, что источники теплоты распределены по объему равномерно и постоянны во времени ($q_1 = \text{const}$, $q_2 = \text{const}$) и рассмотрим этот случай СВЧ-нагрева.

Введем обобщенные переменные:

$$\xi=\frac{r}{R_2};\zeta=\frac{R_1}{R_2};\ H=\frac{\lambda_2}{\alpha R_2};\varsigma=\frac{q_2}{q_1};$$

$$L_1=\frac{T_c}{R_2^2q_1}\lambda_1;\ L_2=\frac{T_c}{R_2^2q_1}\lambda_2;\ A_1=\frac{a_1}{R_2^2};\ A_2=\frac{a_2}{R_2^2};\quad(4)$$

$$\theta_1(\tau,\xi)=\frac{T_1(\tau,\xi)-T_c}{T_c};\theta_{02}=\frac{T_{02}-T_c}{T_c}.$$

Тогда система уравнений (1)–(3) преобразуется к следующему виду:

$$\left.\begin{aligned}&\frac{1}{A_1}\frac{\partial\theta_1(\tau,\xi)}{\partial\tau}=\nabla^2\theta_1(\tau,\xi)+\frac{1}{L_1},\quad 0\le\xi<\zeta,\ \tau>0,\\&\theta_1(0,\xi)=\theta_{01},\quad 0\le\xi\le\zeta,\tau=0,\\&\frac{\partial\theta_1(\tau,0)}{\partial r}=0,\quad\tau>0,\end{aligned}\right\}\quad(5)$$

$$\left.\begin{aligned}&\frac{1}{A_2}\frac{\partial\theta_2(\tau,\xi)}{\partial\tau}=\nabla^2\theta_2(\tau,\xi)+\frac{\varsigma}{L_2},\quad\zeta<\xi<1,\ \tau>0,\\&\theta_2(0,\xi)=\theta_{02},\quad\zeta>\xi\ge1,\ \tau=0,\\&\theta_2(\tau,1)+H\frac{\partial\theta_2(\tau,1)}{\partial\xi}=0,\quad\xi=1,\tau>0,\end{aligned}\right\}\quad(6)$$

$$\left.\begin{aligned}&L_1\frac{\partial\theta_1(\tau,\zeta)}{\partial\xi}=L_2\frac{\partial\theta_2(\tau,\zeta)}{\partial\xi},\quad\xi=\zeta,\ \tau>0,\\&\theta_1(\tau,\zeta)=\theta_2(\tau,\zeta),\quad\xi=\zeta,\ \tau>0.\end{aligned}\right\}\quad(7)$$

Искомое решение систем (5)–(7) может быть редуцировано следующим образом:

$$\left.\begin{aligned}&\theta_1(\tau,\xi)=\Psi_1(\xi)+W_1(\tau,\xi),\\&\theta_2(\tau,\xi)=\Psi_2(\xi)+W_2(\tau,\xi),\end{aligned}\right\}\quad(8)$$

где функции $\Psi_1(\xi)$ и $\Psi_2(\xi)$ удовлетворяют системе уравнений:

$$\left.\begin{aligned}&\nabla^2\Psi_1(\xi)+\frac{1}{L_1}=0,\quad0\le\xi<\zeta,\ \tau>0,\\&\frac{\partial\Psi_1(0)}{\partial\xi}=0,\quad\tau>0,\end{aligned}\right\}\quad(9)$$

$$\left.\begin{aligned}&\nabla^2\Psi_2(\xi)+\frac{\varsigma}{L_2}=0,\quad \zeta<\xi<1,\ \tau>0,\\&\Psi_2(1)+H\frac{\partial\Psi_2(1)}{\partial\xi}=0,\quad \xi=1,\ \tau>0,\end{aligned}\right\}\qquad(10)$$

$$\left.\begin{aligned}&L_1\frac{\partial\Psi_1(\zeta)}{\partial\xi}=L_2\frac{\partial\Psi_2(\zeta)}{\partial\xi},\quad \xi=\zeta,\ \tau>0,\\&\Psi_1(\zeta)=\Psi_2(\zeta),\quad \xi=\zeta,\ \tau>0,\end{aligned}\right\}\qquad(11)$$

а функции $W_1(\tau, \xi)$, $W_2(\tau, \xi)$ удовлетворяют системе уравнений:

$$\left.\begin{aligned}&\frac{1}{A_1}\frac{\partial W_1(\tau,\xi)}{\partial\tau}=\nabla^2W_1(\tau,\xi),\quad 0\le\xi<\zeta,\tau>0,\\&W_1(0,\xi)=-\Psi_1(\xi)+\theta_{01},\quad 0\le\xi<\zeta,\tau=0,\\&\frac{\partial W_1(\tau,0)}{\partial\xi}=0,\tau>0,\end{aligned}\right\}\qquad(12)$$

$$\left.\begin{aligned}&\frac{1}{A_2}\frac{\partial W_2(\tau,\xi)}{\partial\tau}=\nabla^2W_2(\tau,\xi),\quad \zeta<\xi<1,\ \tau>0,\\&W_2(0,\xi)=-\Psi_2(\xi)+\theta_{02},\quad \zeta<\xi<1,\ \tau=0,\\&W_2(\tau,1)+H\frac{\partial W_2(\tau,1)}{\partial\xi}=0,\quad \xi=1,\ \tau>0,\end{aligned}\right\}\qquad(13)$$

$$\left.\begin{aligned}&L_1\frac{\partial W_1(\tau,\zeta)}{\partial\xi}=L_2\frac{\partial W_2(\tau,\zeta)}{\partial\xi},\quad \xi=\zeta,\ \tau>0,\\&W_1(\tau,\zeta)=W_2(\tau,\zeta),\quad \xi=\zeta,\ \tau>0.\end{aligned}\right\}\qquad(14)$$

Решая систему уравнений (9)–(11), получаем следующие выражения для $\Psi_1(\xi)$ и $\Psi_2(\xi)$:

$$\left.\begin{aligned}&\Psi_1(\xi)=\frac{1}{4L_1}(l_3-\xi^2),\\&\Psi_2(\xi)=\frac{\varsigma}{4L_2}(l_1+l_2\ln\xi-\xi^2).\end{aligned}\right\}\qquad(15)$$

где $l_1=1-H(2\zeta^2(1-\frac{1}{\varsigma})-2); l_2=2\zeta^2(1-\frac{1}{\varsigma});$

$$l_3=\varsigma\frac{L_1}{L_2}\left[2\zeta^2(1-\frac{1}{\varsigma})(\ln\zeta-H)+2H-\zeta^2+1\right]+\zeta^2.$$

Решая систему уравнений (12)–(14) методом разделения переменных Фурье [2], находим, что данным уравнениям удовлетворяют частные решения вида:

$$\varpi_1(\tau,\xi)=aJ_0(mB_1\xi)\exp(-m^2\tau);\qquad(16)$$

$$\varpi_2(\tau,\xi)=\left[bJ_0(kB_2\xi)+cN_0(kB_2\xi)\right]\exp(-k^2\tau),\qquad(17)$$

где a, b, c — постоянные интегрирования; m, k — постоянные разделения, $B_1=\sqrt{\frac{1}{A_1}}$, $B_2=\sqrt{\frac{1}{A_2}}$.

Условия (14) для постоянных a, b, c могут быть выполнены при $k=m$.

Положим $kB_2=\gamma$ и $\varepsilon=B_1/B_2$, тогда с учетом (14) получим соотношения для коэффициентов a, b, c:

$$\left.\begin{aligned}&b=aP(\gamma,\varepsilon,\zeta);\\&c=az(\gamma,\varepsilon,\zeta),\end{aligned}\right\}\qquad(18)$$

где $P(\gamma,\varepsilon,\zeta)=\dfrac{J_0(\gamma\varepsilon\zeta)N_0'(\gamma\zeta)-\frac{L_1}{L_2}(\gamma\varepsilon\zeta)N_0(\gamma\zeta)}{J_0(\gamma\zeta)N_0'(\gamma\zeta)-J_0'(\gamma\zeta)N_0(\gamma\zeta)}$;

$$Z(\gamma,\varepsilon,\zeta)=\frac{L_1}{L_2}\frac{J_0'(\gamma\varepsilon\zeta)}{N_0'(\gamma\zeta)}-P(\gamma,\varepsilon,\zeta)\frac{J_0'(\gamma'\zeta)}{N_0'(\gamma\zeta)}.$$

Для выполнения граничных условий на поверхности цилиндра при $\xi=1$, в соответствии с формулами (12) и (18), необходимо, чтобы собственные значения γ удовлетворяли следующему трансцедентному уравнению:

$$\begin{aligned}&P(\gamma,\varepsilon,\zeta)\left[J_0(\gamma)+HJ_0'(\gamma)\right]+\\&+Z(\gamma,\varepsilon,\zeta)\left[N_0(\gamma)+HN_0'(\gamma)\right].\end{aligned}\qquad(19)$$

Корни уравнения (19) представляют дискретный спектр значений γ_n ($n=1, 2, ...$).

Тогда с учетом соотношений (18)–(19) функции $W_1(\tau, \xi)$ и $W_2(\tau, \xi)$ определим как бесконечные суммы решений вида (16)–(17):

$$W_1(\tau,\xi)=\sum_{n=1}^{\infty}A_nJ_0(\gamma_n\varepsilon\xi)\exp\left[-(\gamma_n/B_2)^2\tau\right];\qquad(20)$$

$$\begin{aligned}W_2(\tau,\xi)=\sum_{n=1}^{\infty}A_n&\left[P(\gamma_n,\varepsilon,\zeta)J_0(\gamma_n\xi)+\right.\\&\left.+Z(\gamma_n,\varepsilon,\zeta)N_0(\gamma_n\xi)\right]\exp\left[-(\gamma_n/B_2)^2\tau\right].\end{aligned}\qquad(21)$$

Можно доказать, что условие ортогональности собственных функций в выражениях (20) и (21) имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}&L_1B_1^2\int_0^x A_nJ_0(\gamma_n\varepsilon R)A_mJ_0(\gamma_m\varepsilon\xi)\xi\,d\xi+\\&+L_2B_2^2\int_x^1 A_n\left[P(\gamma_n,\varepsilon,\zeta)J_0(\gamma_n\xi)+Z(\gamma_n,\varepsilon,\zeta)N_0(\gamma_n\xi)\right]\times\\&\times A_m\left[P(\gamma_m,\varepsilon,\zeta)J_0(\gamma_m\xi)+Z(\gamma_m,\varepsilon,\zeta)N_0(\gamma_m\xi)\right]\xi d\xi=\\&=\begin{cases}L_1B_1^2A\,\tilde N_1^2+L_2B_2^2A_n\tilde N_2^2 & \text{при } n=m;\\ 0 & \text{при } n\ne m,\end{cases}\end{aligned}\qquad(22)$$

где

$$\tilde N_1^2=\int_0^x J_0^2(\gamma_n\varepsilon\xi)\xi\,d\xi;\qquad(23)$$

$$\begin{aligned}\tilde N_2^2=\int_x^1&\left[P(\gamma_n,\varepsilon,\zeta)J_0(\gamma_n\xi)+\right.\\&\left.+Z(\gamma_n,\varepsilon,\zeta)N_0(\gamma_n\xi)\right]^2\xi d\xi.\end{aligned}\qquad(24)$$

Тогда в соответствии с начальными условиями (12), (13) и соотношениями (20)–(24) получим выражение для коэффициента A_n:

$$\begin{aligned}A_n=&\frac{L_1B_1^2\int_0^x\xi(\theta_{01}-\Psi_1(\xi)J_0(\gamma_n\varepsilon\xi)\,d\xi}{L_1B_1^2\tilde N_1^2+L_2B_2^2\tilde N_2^2}+\\&+\frac{L_2B_2^2\int_x^1\xi(\theta_{02}-\Psi_2(\xi)\left[\begin{matrix}P(\gamma_n,\varepsilon,\zeta)J_0(\gamma_n\xi)+\\+Z(\gamma_n,\varepsilon,\zeta)N_0(\gamma_n\xi)\end{matrix}\right]d\xi}{L_1B_1^2\tilde N_1^2+L_2B_2^2\tilde N_2^2}.\end{aligned}\qquad(25)$$

Соотношение (25) можно записать в виде

$$A_n = \frac{L_1 B_1^2 \overset{*}{C}_n + L_2 B_2^2 \overset{*}{D}_n}{L_1 B_1^2 \tilde{N}_1^2 + L_2 B_2^2 \tilde{N}_2^2}, \quad (26)$$

где

$$\overset{*}{C}_n = \int_0^x \xi(\theta_{01} - \Psi_1(\xi)) J_0(\gamma_n \varepsilon \xi)\, d\xi; \quad (27)$$

$$\overset{*}{D}_n = \int_x^1 \xi(\theta_{02} - \Psi_2(\xi))\left[P(\gamma_n,\varepsilon,\zeta) J_0(\gamma_n \xi) + Z(\gamma_n,\varepsilon,\zeta) N_0(\gamma_n \xi)\right] d\xi. \quad (28)$$

Интегрируя выражения (23), (24), получим

$$\tilde{N}_1^2 = \frac{\zeta^2}{2}\left[J_1^2(\gamma_n \varepsilon\zeta) + J_0^2(\gamma_n \varepsilon\zeta)\right]; \quad (29)$$

$$\tilde{N}_2^2 = \frac{1}{2}\left[F_1^2(\gamma_n) + F_0^2(\gamma_n) - x^2\left(F_1^2(\gamma_n\zeta) + F_0^2(\gamma_n\zeta)\right)\right], \quad (30)$$

где

$$F_0(\gamma_n) = P(\gamma_n,\varepsilon,\zeta) J_0(\gamma_n) + Z(\gamma_n,\varepsilon,\zeta) N_0(\gamma_n);$$

$$F_0(\gamma_n\zeta) = P(\gamma_n,\varepsilon,\zeta) J_0(\gamma_n\zeta) + Z(\gamma_n,\varepsilon,\zeta) N_0(\gamma_n\zeta);$$

$$F_1(\gamma_n) = P(\gamma_n,\varepsilon,\zeta) J_1(\gamma_n) + Z(\gamma_n,\varepsilon,\zeta) N_1(\gamma_n);$$

$$F_1(\gamma_n\zeta) = P(\gamma_n,\varepsilon,\zeta) J_1(\gamma_n\zeta) + Z(\gamma_n,\varepsilon,\zeta) N_1(\gamma_n\zeta).$$

Выражения для $\overset{*}{C}_n$ и $\overset{*}{D}_n$ после интегрирования соотношений (27) и (28) с учетом (15) имеют вид

$$\overset{*}{C}_n = \frac{1}{4L_1}\left[J_0(\gamma_n \varepsilon\zeta)\left[\frac{2\zeta^2}{(\gamma_n\varepsilon)^2}\right] + J_1(\gamma_n \varepsilon\zeta)\left[\frac{\zeta^3 - \zeta\tilde{l}_3}{\gamma_n\varepsilon} - \frac{4\zeta}{(\gamma_n\varepsilon)^3}\right]\right]; \quad (31)$$

$$\overset{*}{D}_n = \frac{\varsigma}{4L_2}\left[F_0(\gamma_n)\frac{1}{\gamma_n^2}(2 - l_2) + F_1(\gamma_n)\frac{1}{\gamma_n}(1 - \tilde{l}_1 - \frac{4}{\gamma_n^2}) - F_0(\gamma_n\zeta)\frac{1}{\gamma_n^2}(2\zeta^2 - l_2) - F_1(\gamma_n\zeta)\frac{1}{\gamma_n}(\zeta^3 - \tilde{l}_1\zeta - l_2\zeta\ln\zeta - \frac{4\zeta}{\gamma_n^2})\right], \quad (32)$$

где $\tilde{l}_1 = l_1 - 4L_2\theta_{02}/\varsigma$, $\tilde{l}_3 = l_3 - 4L_1\theta_{01}$.

Таким образом, соотношения (8), (15), (19)–(21), (26)–(32) описывают температурные поля в двухслойном цилиндрическом объекте при наличии равномерно распределенных по объему и постоянных во времени источников теплоты. Численный анализ полученных выражений при наличии современных вычислительных средств не представляет затруднений и позволяет оценить температурное воздействие при СВЧ-нагреве двухслойных цилиндрических объектов, в частности пантов.

Список литературы

1. Горин Д.А. Задача теоретического исследования процесса технологического нагрева пантов северного оленя в ЭМП СВЧ // Наукові праці Одесько˚ національно˚ академі˚ харчових технологій. — Одеса, 2012. — Вип. 41. — Т. 2. — С. 221–225.

2. Будаев В.Д., Флегонтов А.В. Метод разделения переменных в математической физике: учеб. изд. — СПб.: Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, 2009. — С. 10–18.

УДК 631.3.032

С.А. Андреев, *канд. техн. наук*
Е.А. Петрова
Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ИОНОВ ОЗОНА ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ ДВИЖИТЕЛЕМ

Электростатические движители приобретают возрастающую роль в различных областях техники и сельского хозяйства. Например, для вентиляции помещений, активного перемешивания газов, нанесения краски или распыления аэрозолей. Перспективное направление использования электростатических движителей связано с осуществлением озонового наддува в топочные камеры водогрейных котлов.

Известно, что озон, являясь сильным окислителем, способен существенно интенсифицировать процесс горения топлива. В то же время, в отличие от обычного кислорода, озон легко получается из воздуха и поэтому его применение в качестве агента наддува более перспективно [1]. В связи с чрезвычайной нестойкостью озона процесс его получения должен производиться непосредственно перед подачей в топку. Поэтому в конструкции котла необходимо предусмотреть озонатор и вентилятор. При этом последний служит для нагнетания полученного озона в топочную камеру [2]. Однако дополнение небольших водогрейных котлов вентиляторами приводит к их усложнению, удорожанию, снижает надежность и создает предпосыл-

ки для возникновения вибрационных или акустических помех.

Перечисленные обстоятельства определяют целесообразность использования электростатического способа подачи озона без механических вентиляторов [3]. Эта задача решается с помощью «ионного ветра», создаваемого электростатическими движителями. Однако широкому распространению такого способа препятствует его недостаточная изученность, препятствующая разработке простых и эффективных устройств.

В ионном движителе осуществляется разгон электрически заряженных частиц в электростатическом поле. Для создания ионного ветра могут использоваться ионы атомов и молекул, а также заряженные коллоидные частицы, капли или пылинки. При использовании этого эффекта для интенсификации горения рабочим телом являются положительные ионы атомов озона.

Принцип действия электростатического движителя весьма схож с электрореактивным ракетным двигателем [4]. Основное различие заключается лишь в том, что в ракетных двигателях целью является перемещение ракеты, а в электростатическом движителе — перемещение рабочего тела. И если в тепловых ракетных двигателях сила тяги образуется вследствие ударов молекул или атомов о стенки камеры, то в электростатических движителях сила тяги в основном возникает вследствие взаимодействия частиц с электромагнитными полями.

Скорость частиц массой m с зарядом e на выходе из электростатического движителя определяется из уравнения энергии:

$$m(\omega^2 - \omega_a^2)/2 = e(u_a - u), \qquad (1)$$

откуда

$$\omega = \sqrt{\frac{2e(u_a - u)}{m} + \omega_a^2}, \qquad (2)$$

где $(u_a - u)$ — разность потенциалов между началом и концом разгона; ω_a — начальная скорость ионов на аноде.

При стационарном истечении одноименных заряженных частиц из изолированного движителя электрический потенциал будет непрерывно возрастать, что очень быстро приведет к торможению частиц в поле и прекращению работы движителя. Во избежание этого необходимо нейтрализовать выходящую струю положительно заряженных ионов электронами или отрицательными ионами. При этом суммарный заряд выходящих частиц должен быть равным нулю. На рис. 1 показана принципиальная схема ионного электростатического движителя.

Нейтральное рабочее тело (озон) подается в ионизатор *2*, где происходит разделение атомов на ионы и электроны. Пучок ионов *3*, выходящий

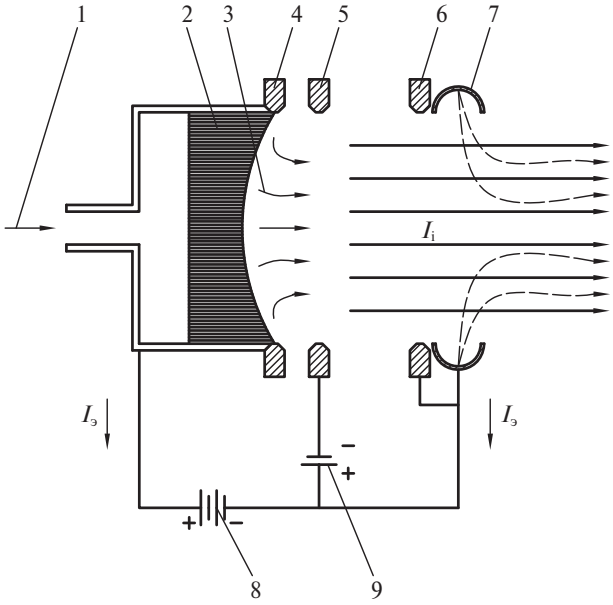


Рис. 1. **Принципиальная схема ионного электростатического движителя**

из ионизатора, формируется фокусирующим электродом *4*, с тем, чтобы свести до минимума попадание ионов на ускоряющий электрод *5*. Фокусирующий электрод и ионизатор имеют одинаковый положительный потенциал. Разность потенциалов между ионизатором и ускоряющим электродом выбирается таковой, чтобы скорость ионов на выходе из ускоряющего электрода несколько превышала необходимое значение. Это способствует увеличению плотности тока ионов, которая в электростатических движителях составляет несколько миллиампер на квадратный сантиметр.

За ускоряющим электродом установлен замедляющий электрод *6*. Если принять, что потенциал замедляющего электрода равен нулю, то потенциал ускоряющего электрода окажется несколько меньшим нуля. Между ускоряющим и замедляющим электродами скорость ионов уменьшается до заданного значения. В пространстве между электродами и ионизатором необходимо создать такие условия, чтобы средний свободный пробег частиц в остаточном газе значительно превышал расстояние между электродами. Это сводит к минимуму соударение ионов с атомами остаточного озона, ионизацию последних и попадание вновь образовавшихся вторичных ионов и электронов на элементы ускорителя.

Электроны от ионизатора по системе проводов поступают в нейтрализатор *7*, а из него — в струю ионов, нейтрализуя ее. Потенциал нейтрализатора мало отличается от потенциала замедляющего электрода. Поэтому на схеме условно показано, что они находятся под одинаковым потенциалом. Разность потенциалов между нейтрализатором и ускоряющим электродом препятствует попада-

нию на ускоряющий электрод и ионизатор электронов, выходящих из нейтрализатора. Необходимая разность потенциалов между ионизатором и нейтрализатором создается источником тока *8*, мощность которого расходуется в основном на разгон ионов между ионизатором и ускоряющим электродом. Мощность источника невелика, так как сила тока в его цепи мала, а в идеальном случае, когда ионы не попадают на ускоряющий электрод, вообще равна нулю.

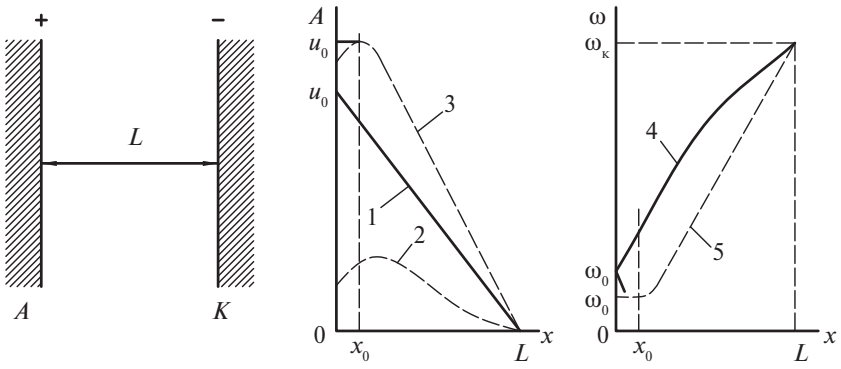


Рис. 2. **Распределение скорости и потенциала между электродами**

Рассмотрим движение положительно заряженных ионов в однородном электрическом поле, создаваемом двумя бесконечными параллельными пластинами *A* и *K* (рис. 2).

Пластина *A* является анодом с потенциалом $u_а$, а пластина *K* — катодом потенциал которого $u_к = 0$. Расстояние между электродами равно *L*. Если в пространстве между анодом и катодом находится небольшое число ионов, то потенциал от $u_а$ до $u_к = 0$ меняется линейно (кривая *1*), а скорость иона от анода к катоду увеличивается от $ω_а$ до $ω_к$ по параболическому закону (кривая *4*). Такое изменение потенциала и скорости получается при плотности тока между электродами, близкой к нулю.

При плотности тока, отличной от нуля, присутствие значительного количества ионов озона между электродами создает положительный пространственный заряд, потенциал которого приближенно представлен кривой *2*. В этом случае потенциал между электродами будет характеризоваться кривой *3*, являющейся суммой приложенного потенциала и потенциала пространственного заряда. При большой величине пространственного заряда кривая *3* может иметь максимум. При таком распределении потенциала скорость ионов от $ω_а$ до $ω_к$ будет изменяться согласно кривой *5*. Там, где потенциал имеет максимальное значение, скорость окажется минимальной.

Установим количественные соотношения между основными параметрами, характеризующими движение ионов в межэлектродном пространстве. Предположим, что все ионы имеют одинаковый заряд *e* и одинаковую массу *m*. Начало отсчета вдоль оси абсцисс совместим с положением анода. Так же, как и раньше, обозначим начальную скорость ионов на аноде через $ω_а$, принимая ее для всех ионов одинаковой. Соответственно скорость ионов у катода будет равна $ω_к$.

Дальнейшее рассмотрение задачи произведем для случая, когда в сечении x_0 между электродами потенциал имеет максимум, превышающий потенциалы анода и катода. Обозначим минимальную скорость при $x = x_0$ через $ω_0$, а максимальный потенциал — через u_0.

Для дальнейших рассуждений помимо формул (1) и (2) воспользуемся уравнением плотности тока:

$$j = ne\omega \text{ или } j = \rho\omega, \qquad (3)$$

где *n* — количество зарядов в единице объема; ρ — плотность заряда.

Поскольку задача линейная, то плотность тока не зависит от *x*. Если наименьшей скоростью обладают ионы, находящиеся вблизи анода, то плотность заряда в этой области будет наибольшей. Скопление положительных зарядов у анода уменьшает напряженность электрического поля в этой части межэлектродного промежутка и препятствует движению ионов от анода к катоду. С ростом тока плотность заряда у анода возрастает настолько, что дальнейшее увеличение тока становится невозможным и плотность тока приобретает максимальное значение. Такой максимальный ток обозначим символом j_m.

Связь между потенциалом и плотностью пространственного заряда определяется уравнением Пуассона:

$$\frac{d^2u}{dx^2} = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}, \qquad (4)$$

где ε_0 — электрическая постоянная,
$\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Кл^2/(Н·м^2).

Подставляя в уравнение (4) выражения (1) и (2), получим

$$\frac{d^2u}{dx^2} = -\frac{j}{\varepsilon_0\omega} = -\frac{j}{\varepsilon_0\sqrt{2e(u_а - u)/m + \omega_a^2}}.$$

Так как $\frac{d^2u}{dx^2} = \frac{1}{2}\frac{d}{du}\left(\frac{du}{dx}\right)^2$, а $\left(\frac{du}{dx}\right)^2 = 2\int\frac{d^2u}{dx^2}du$,

то $\left(\frac{du}{dx}\right)^2 = -\frac{2j}{\varepsilon_0}\int\frac{du}{\sqrt{2e(u_а - u)/m + \omega_а^2}} = \frac{2jm}{\varepsilon_0 e}\omega + C_1$,

где C_1 — константа интегрирования.

Согласно предположению о наличии минимума скорости ω_0 и максимума потенциала u_0, производная $\frac{du}{dx}$ в сечении x_0, где $u = u_0$ и $\omega = \omega_0$, будет равна нулю. Следовательно,

$$\frac{du}{dx} = \pm\sqrt{2jm(\omega - \omega_0)/\varepsilon_0 e}. \quad (5)$$

В области между $x = 0$ и $x = x_0$, где с ростом x потенциал увеличивается, производная $\frac{du}{dx}$ положительна и перед корнем в выражении (5) следует брать знак «плюс». В области от $x = 0$ до $x = x_к = L$ производная $\frac{du}{dx}$ отрицательна и перед корнем окажется «минус».

Дифференцируя (2), получим

$$du = -m\omega d\omega/e. \quad (6)$$

Используя это выражение и уравнение (5), получим дифференциальное уравнение:

$$\frac{\omega d\omega}{\sqrt{2jm(\omega - \omega_0)/\varepsilon_0 e}} = \pm\frac{e}{m}dx,$$

в результате интегрирования которого будем иметь

$$(\omega + 2\omega_0)\sqrt{\omega - \omega_0} = \pm\frac{3}{2}x\sqrt{2je/(e_0 m)} + C_2. \quad (7)$$

Знак «минус» в выражении (7) применим для участка, где $x < x_0$, а знак «плюс» — когда $x > x_0$. Чтобы различить первый и второй участки, будем обозначать их константы соответственно через C_2' и C_2'' соответственно. Для первого участка ($x \leqslant x_0$) при $x = x_0$ скорость равна $\omega = \omega_0$ и

$$C_2' = \left(\frac{3}{2}\right)x_0\sqrt{2je/(\varepsilon_0 m)},$$

а для второго, где $x \geqslant x_0$

$$C_2'' = -\left(\frac{3}{2}\right)x_0\sqrt{2je/(\varepsilon_0 m)}.$$

Следовательно, $C_2' = -C_2''$.

С другой стороны, на участке, где $x < x_0$ при $x = 0$ скорость $\omega = \omega_0$, откуда

$$C_2' = (\omega_a + 2\omega_0)\sqrt{\omega_a - \omega_0} = -C_2''. \quad (8)$$

Используя уравнения (7) и (8), окончательно получим

$$(\omega_a + 2\omega_0)\sqrt{\omega_a - \omega_0} \pm (\omega + 2\omega_0)\sqrt{\omega - \omega_0} = \frac{3}{2}\sqrt{\frac{2je}{\varepsilon_0 m}}x. \quad (9)$$

Знак «плюс» в этом уравнении используется, когда $x > x_0$, а «минус» — когда $x < x_0$.

Введем следующие обозначения для безразмерных скоростей: $\omega / \omega_к = \bar{\omega}$, $\omega_0 / \omega_к = \bar{\omega}_0$. Как было условлено, $\omega_к$ — скорость иона у катода. Следовательно, относительная скорость у катода $\bar{\omega}_к = 1$. Подставляя эти значения в (9), получим

$$(\bar{\omega}_a + 2\bar{\omega}_0)\sqrt{\bar{\omega}_a - \bar{\omega}_0} \pm (\bar{\omega} + 2\bar{\omega}_0)\sqrt{\bar{\omega} - \bar{\omega}_0} = \frac{3}{2}\sqrt{\frac{2je}{\varepsilon_0 m}}\frac{L}{\omega_к^{3/2}}. \quad (10)$$

При $x = L$ формула (10) принимает вид

$$(\bar{\omega}_a + 2\bar{\omega}_0)\sqrt{\bar{\omega}_a - \bar{\omega}_0} + (1 + 2\bar{\omega}_0)\sqrt{1 - \bar{\omega}_0} = \frac{3}{2}\sqrt{\frac{2je}{\varepsilon_0 m}}\frac{L}{\omega_к^{3/2}}. \quad (11)$$

В формуле (11) применяется знак «плюс», так как $L > x_0$. Относительную координату ионов в зависимости от их скорости находим путем совместного решения уравнений (10) и (11):

$$\frac{x}{L} = \frac{(\bar{\omega}_a + 2\bar{\omega}_0)\sqrt{\bar{\omega}_a - \bar{\omega}_0} \pm (\bar{\omega} \pm 2\bar{\omega}_0)\sqrt{\bar{\omega} - \bar{\omega}_0}}{(\bar{\omega}_a + 2\bar{\omega}_0)\sqrt{\bar{\omega}_a - \bar{\omega}_0} + (1 + 2\bar{\omega}_0)\sqrt{1 - \bar{\omega}_0}}. \quad (12)$$

Правило знаков в выражении (12) остается таким же, как в выражении (9). Из (12) легко получить, что относительная координата, соответствующая максимуму потенциала:

$$\frac{x}{L} = \left[1 + \frac{(1 + 2\bar{\omega}_0)\sqrt{1 - \bar{\omega}_0}}{(\omega_a + 2\bar{\omega}_0)\sqrt{\bar{\omega}_a - \bar{\omega}_0}}\right]^{-1}. \quad (13)$$

Определим величину $\bar{\omega}_0$, соответствующую максимальной плотности тока. Для этого решим уравнение (11) относительно j:

$$j = \frac{2}{9}\varepsilon_0\omega_к^3\frac{m}{e}L^{-2} \times \left[(\bar{\omega}_a + 2\bar{\omega}_0)\sqrt{\bar{\omega}_a - \bar{\omega}_0} + (1 + 2\bar{\omega}_0)\sqrt{1 - \bar{\omega}_0}\right]^2.$$

Продифференцируем полученное выражение по $\bar{\omega}_0$ и приравняем полученную производную нулю. В результате получим значение скорости, соответствующее максимуму плотности тока:

$$\bar{\omega}_{0опт} = \bar{\omega}_a/(1 + \bar{\omega}_a). \quad (14)$$

После подстановки значения $\bar{\omega}_{0опт}$ из (14) в предыдущую формулу установим величину максимальной плотности тока:

$$j_{max} = (1 + \bar{\omega}_a)^3\frac{2}{9}\frac{m}{e}\frac{\varepsilon_0\omega_к^3}{L^2}. \quad (15)$$

Так как скорость ионов у катода

$$\omega_к = \sqrt{\frac{2}{1 - \bar{\omega}_a^w}\frac{e}{m}u_a},$$

то максимальная плотность тока, выраженная через потенциал анода,

$$j_{\max} = \frac{4}{9}\left(\frac{1+\bar{\omega}_a}{1-\bar{\omega}_a}\right)^{3/2}\left(\frac{2e}{m}\right)^{1/2}\varepsilon_0 u_a^{3/2}/L^2. \quad (16)$$

Если начальная скорость $\omega_a = 0$ $(\bar{\omega}_a = 0)$, то для максимальной плотности тока получается обычное уравнение Чайльда–Лэнгмюра (закон трех вторых)

$$j_{\max 0} = \frac{2}{9}\frac{m}{e}\frac{\varepsilon_0\omega_к^3}{L^2} = \frac{4}{9}\left(\frac{2e}{m}\right)^{1/2}\frac{\varepsilon_0 u_a^{3/2}}{L^2}. \quad (17)$$

Вольт-амперные характеристики рассматриваемой системы электродов рассчитываются по формуле (17) и представляют собой зависимости максимальной плотности тока от разности потенциалов на электродах при начальной скорости ионов $\bar{\omega}_a = 0$. Из уравнений (15), (16) и (17) можно заключить, что при $\omega_к = \text{const}$ и $L = \text{const}$ отношение максимальных плотностей тока при $\bar{\omega}_a \neq 0$ и $\bar{\omega}_a = 0$ имеет вид

$$\frac{j_{\max}}{j_{\max 0}} = \left(\frac{1+\bar{\omega}_a}{1-\bar{\omega}_a}\right)^{3/2}.$$

В результате подстановки численных значений становится очевидным, что если начальная скорость составляет 0,2 от конечной, т. е. $\bar{\omega}_a = 0{,}2$, то максимальная плотность тока будет в 1,74 раза больше, чем максимальная плотность тока, получаемая по (17) при $\bar{\omega}_a = 0$. В таком случае для получения заданной скорости на катоде требуемое значение потенциала u_a будет меньше, чем при начальной скорости, равной нулю. Например, при $\bar{\omega}_a = 0{,}2$ отношение $u_a/u_{a0} = 0{,}96$.

Еще большее возрастание плотности тока получается, если с ростом $\bar{\omega}_a$ поддерживать постоянным потенциал на аноде $u_a = \text{const}$. В этом случае при $\bar{\omega}_a = 0{,}2$ отношение $j_{\max}/j_{\max 0} = 1{,}84$, а скорость у катода увеличивается так, что отношение $\nu_к/\omega_{к0}$ будет равно 1,02.

Рассмотрим далее зависимость скорости ионов от координаты при максимальном токе. Ее легко получить путем совместного решения уравнений (12) и (14):

$$\left(\frac{x}{L}\right)_{\max} = \frac{\left\{\begin{array}{l}\bar{\omega}_a^3 + 3\bar{\omega}_a^2 \pm \left[\bar{\omega}\left(1+\bar{\omega}_a\right) + 2\bar{\omega}_a\right]\times \\ \times\sqrt{\bar{\omega}\left(1+\bar{\omega}_a\right) - \bar{\omega}_a}\end{array}\right\}}{\left(1+\bar{\omega}_a\right)^3}. \quad (18)$$

Знак «плюс» в этом уравнении используется тогда, когда $x > x_0$, а «минус» — когда $x < x_0$. При максимальном токе координата определится путем подстановки в (18) величины $\bar{\omega} = \bar{\omega}_{0\text{опт}}$ из (14). В результате получаем

$$\left(\frac{x_0}{L}\right)_{\max} = \frac{\left(3\bar{\omega}_a^2 + \bar{\omega}_a^3\right)}{\left(1+\bar{\omega}_a\right)^3}. \quad (19)$$

Напряженность электрического поля между электродами с использованием формулы (5):

$$E = \pm\sqrt{2jm\omega_к\left(\bar{\omega} - \bar{\omega}_0\right)/\left(\varepsilon_0 e\right)}. \quad (20)$$

Знак «плюс» перед корнем выбирается для участка межэлектродного пространства, где $x > x_0$, а «минус» — где $x < x_0$.

Так как при максимальном токе скорость $\bar{\omega}_0$ выражается формулой (14), то напряженность поля в этом случае

$$E = \pm\sqrt{\frac{2jm}{\varepsilon_0 e}\omega_к\left(\bar{\omega} - \frac{\bar{\omega}_a}{1+\bar{\omega}_a}\right)}.$$

Следовательно, у катода

$$E_к = \sqrt{\frac{2jm}{\varepsilon_0 e}\frac{\omega_к}{1+\bar{\omega}_a}}$$

и отношение

$$\frac{E}{E_к} = \pm\sqrt{\bar{\omega}\left(1+\bar{\omega}_a\right) - \bar{\omega}_a}, \quad (21)$$

а зависимость потенциала от скорости ионов

$$\frac{u}{u_a} = \frac{1-\bar{\omega}^2}{1-\bar{\omega}_a^2}. \quad (22)$$

Отношение плотности зарядов в любой точке межэлектродного пространства к плотности зарядов у катода

$$\rho/\rho_к = 1/\bar{\omega}. \quad (23)$$

Выражения $E/E_к$, $u/u_к$ и $\rho/\rho_к$ являются функцией скорости, связь же между скоростью ионов и координатой определяется формулой (18).

На рис. 3 показано изменение в межэлектродном пространстве $\bar{\omega}$, $E/E_к$, $\rho/\rho_к$ и u/u_a в зависимости от x/L при максимальном токе $j_{\max}$ для случая, когда начальная скорость $\bar{\omega}_a = 0$ (штриховые линии) и для случая, когда начальная скорость $\bar{\omega}_a = \omega_a/\omega_к = 0{,}2$ (сплошная линия). Обращает

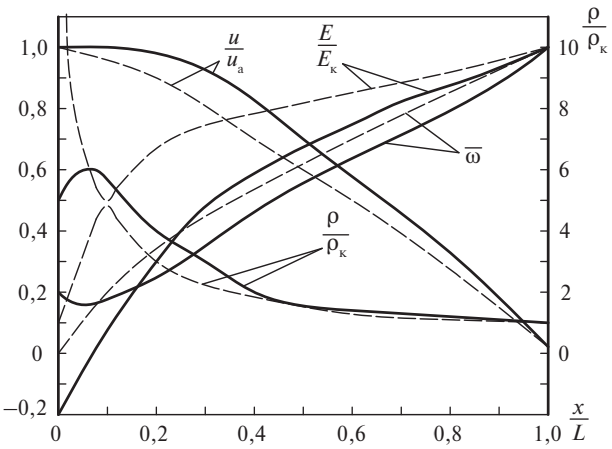


Рис. 3. **Параметры движения ионов в межэлектродном зазоре**

на себя внимание, что при $\omega_a \neq 0$ плотность зарядов $\rho/\rho_к$ имеет везде конечное значение, в то время как при $\overline{\omega}_a = 0$ плотность зарядов у анода стремится к бесконечности.

Следует отметить, что полученные выражения для движения ионов справедливы для случая, когда скорость ионов у анода меньше, чем у катода ($\overline{\omega}_a = \omega_a / \omega_к < 1$ и $u_a < u_к$), так и для случая, когда скорость у анода больше, чем у катода ($\omega_a > 1$ и $u_a > u_к$).

Таким образом, полученные рассуждения позволяют сделать следующие выводы:

1. Проектирование движителей ионов озона должно осуществляться с учетом соотношения начальной и текущей скорости движения ионов, их расположения по отношению к аноду и катоду, а также напряженности электрического поля и плотности зарядов.

2. По мере увеличения начальной скорости ионов происходит возрастание плотности тока. Удаление ионов от анода сопровождается уменьшением потенциала, ростом напряженности поля и уменьшением плотности зарядов.

3. Устройство электростатического движителя должно быть выполнено таким образом, чтобы скорость ионов озона на выходе из укоряющего электрода оказалась максимальной.

Список литературы

1. Андреев С.А., Судник Ю.А., Петрова Е.А. Ресурсосберегающее автономное теплоснабжение объектов АПК // Международный научный журнал. — 2011. — № 5. — С. 83–91.

2. Отопительный котел: пат. РФ № 119860 / С.А. Андреев, Ю.А. Судник, Е.А. Петрова, Д.А. Нормов. — Опубл. 27.08.2012, Бюл. № 24.

3. Отопительный котел: положительное решение ФИПС РФ / С.А. Андреев, Ю.А. Судник, Е.А. Петрова, Н.И. Гурецкий. — № 2012153818 от 13.12.2012.

4. Фаворский О.Н., Фишгойт В.В., Янтовский Е.И. Основы теории космических электрореактивных двигательных установок: учеб. пособие для втузов; под ред. О.Н. Фаворского. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 1978. — 384 с.

УДК 620:9

Е.А. Муравлёва
С.П. Рудобашта, *доктор техн. наук*
Московский государственный агроинженерный университет имени В.И. Горячкина

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ФЕРМЕРСКОГО ДОМА НА ОСНОВЕ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

На территории страны находится большое число обособленных фермерских домов, удаленных от энергосистем регионального или федерального значения, так значительная часть северо-восточной территории Российской Федерации не охвачена централизованным электроснабжением [1]. Снабжение обособленных фермерских домов необходимой электроэнергией в таких регионах осуществляется в большинстве случаев с помощью дизель-генераторов и полноценное энергообеспечение данных потребителей требует большого объема топлива, доставка которого чрезвычайно дорога [2]. Применение ветровых электроустановок малой мощности можно рассматривать как вариант, позволяющий снизить затраты на электроснабжение обособленных фермерских домов.

Энергетический потенциал ветра на территории России составляет около 10 млн т условного топлива в год. Скорость ветра является случайной переменной, изменяющейся по поверхности Земли, высоте и времени, тем не менее среднестатистические ветроэнергетические характеристики достаточно стабильны по отдельным регионам и периодам времени [3].

Для исследования эффективности электроснабжения фермерского дома на основе ветроэлектрической установки малой мощности было выбрано 11 регионов России, расположенных в районе городов Псков, Санкт-Петербург, Астрахань, Сочи, Красноярск, Чита, Якутск, Салехард, Петропавловск-Камчатский, Владивосток, Екатеринбург.

Потенциал ветроэнергетики в указанных регионах распределен не равномерно. Существуют регионы с достаточно высоким среднегодовым показателем: скорость ветра v вблизи таких городов, как Владивосток, равна 14,8 м/с, Петропавловск-Камчатский — 14,7 м/с. В то время как в регионе города Сочи средняя годовая скорость ветра не превышает 1,9 м/с, что является наименьшим показателем из представленных регионов. Средними показателями среднегодовой скорости ветра обладают регионы вблизи Пскова (6,2 м/с), Санкт-Петербурга (12 м/с), Астрахани (11,2 м/с), Красноярска (7,8 м/с), Читы (8,9 м/с), Якутска (5,4 м/с), Сале-

харда (9,9 м/с), Екатеринбурга (12,3 м/с). При выборе ВЭУ необходимо руководствоваться показателями той местности, в которой планируется установка оборудования.

Скорость ветра — важнейший элемент в проектировании и использовании ветроустановки. В общем случае при среднегодовой скорости ветра более 4 м/с на высоте 10 м (на этой высоте на метеостанциях устанавливаются анемометры — приборы, измеряющие скорость ветра) возможно эффективное применение ветроустановок, а ветер с меньшей скоростью годится для водоподъемных устройств. Для ветроустановок, подключенных к сетям электроснабжения, приемлемой минимальной скоростью ветра является 6 м/с [4]. Возможная вырабатываемая мощность пропорциональна кубу скорости ветра и квадрату диаметра ветроколеса. Это означает, что при удвоении скорости ветра возможная вырабатываемая мощность увеличивается в 8 раз. Даже небольшое увеличение скорости ветра приводит к значительному увеличению мощности.

Введем обозначения: ВЭУ — ветровые электроустановки; СО — срок окупаемости, лет; ДЗ — денежные затраты, р.; ЭК — экономия денежных средств, р.; $P_г$ — стоимость 1 м ветроколеса, р.; v — средне годовые показатели скорости ветра, м/с.

Индексы: Э25 — при централизованном электроснабжении фермерского дома за 25 лет эксплуатации; ВЭУ25 — при электроснабжении фермерского дома с помощью возобновляемых источников энергии за 25 лет эксплуатации; ДГ25 — при электроснабжении фермерского дома с помощью дизель-генератора за 25 лет эксплуатации.

Требуемый диаметр ротора ВЭУ с учетом проектируемой мощности ветроустановки $P = 3$ кВт (именно такая мощность, как показали расчеты, требуется для бытового электроснабжения фермерского дома) и скорости ветра в различных регионах России был рассчитан необходимый диаметр ветроколеса по формуле [5]:

$$D = \sqrt{\frac{4P}{\xi \pi v_{min}^3 \rho \eta_{ред} \eta_{ген}}}, \quad (1)$$

где ξ — коэффициент использования энергии ветра (в номинальном режиме для быстроходных ветряков достигает максимум $\xi_{max} = 0{,}4...0{,}5$), безмерная величина; D — диаметр ротора, м; v_{min} — минимальная скорость воздушного потока в году, м/с; $\rho = 1{,}25$ — плотность воздуха, кг/м; $\eta_{ред} = 0{,}9$ — кпд редуктора, %; $\eta_{ген} = 0{,}95$ — кпд генератора, %; P — мощность установки, кВт.

Результаты расчета диаметра ветроколеса ВЭУ (D, м) и стоимость установки (S, р.), при средней стоимости 1 м ветроколеса $P_г = 84\,350$ р. приведены в табл. 1.

Показатель $P_г$ был определен в результате анализа рынка ВЭУ, который показал, что существует большое разнообразие как зарубежных, так и отечественных фирм-производителей ВЭУ (табл. 2). По проведенным авторами подсчетам средняя стоимость 1 м лопасти зарубежных ВЭУ составляет 84 350 р., в то время как отечественные производители выпускают ВЭУ средней стоимостью 122 664 р. за 1 м лопасть ветроколеса.

Наиболее дешевую продукцию выпускает фирма Southwest Windpower, США, 27 055 р./м. Из отечественных фирм-производителей наименьшая стоимость ВЭУ у компании RKraft — 46 042 р.

Минимальный диаметр ветроколеса ВЭУ, позволяющий покрыть расходы на электроснабжение обособленного фермерского дома, составляет $D = 2{,}8$ м в районе Екатеринбурга и максимальный диаметр $D = 44$ м в регионе вблизи города Сочи (см. табл. 1).

Таблица 1

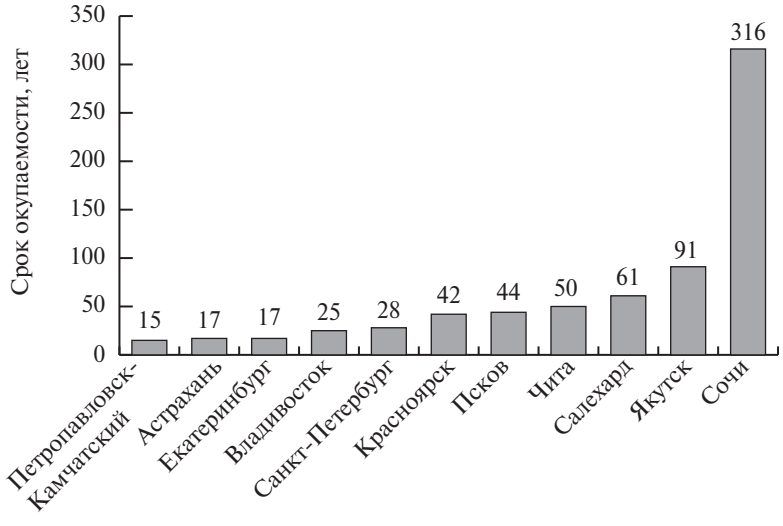
Диаметр ветроколеса турбины и стоимость ВЭУ

Город	v_{min}, м/с	D, м	S, р.
Псков	4,5	9,3	784 455
Санкт-Петербург	9,5	3,0	253 050
Астрахань	8,8	3,4	286 790
Сочи	1,6	44,0	3 711 400
Красноярск	5,3	7,3	615 755
Чита	5,7	6,6	556 710
Якутск	2,6	21,3	1 796 655
Салехард	5,1	7,7	649 495
Петропавловск-Камчатский	8,9	3,4	286 790
Владивосток	9,2	3,2	269 920
Екатеринбург	10	2,8	236 180

Таблица 2

Средняя стоимость одного метра лопасти ветроколеса ВЭУ отечественных и зарубежных фирмам производителей

Производители	$P_г$, р.
Зарубежные	
Southwest Windpower	27 055
ООО «Украинская альтернативная энергетика»	37 412
J. Bornay	39 187
ООО «Запорожье»	60 149
Winder	105 079
Landmark Alternative	131 533
Отечественные	
RKraft	46 042
ЗАО «Ветроэнергетическая компания»	57 419
ООО «МикроАрт»	80 357
Windenergy Company	85 608
ООО «ИнжИнвестСтрой»	97 740
ООО «ГРЦ-Вертикаль» (SRC Vertical)	139 854



Срок окупаемости ВЭУ в различных климатических условиях России

Срок окупаемости ВЭУ (СО, р.) прямо пропорционален длине лопасти ветроколеса, так как стоимость установки возрастает от ее габаритов и обратно пропорционален экономии средств, полученных от отказа в использовании централизованного электроснабжения (рисунок).

Проведенные расчеты показали (см. рисунок), что наименьший срок окупаемости в регионах с наиболее высокими показателями скорости ветра Петропавловска-Камчатского СО = 15 лет (Астрахань, Екатеринбург СО = 17 лет). Наибольший срок окупаемости в регионах с городами Сочи и Якутск СО = 316 лет и СО = 91 год. Таким образом, срок окупаемости ВЭУ в регионах со скоростью ветра ниже 4 м/с настолько велик, что установка не окупится до истечения срока эксплуатации, который составляет 25 лет [5].

Очевидно, использование ВЭУ целесообразно только в тех регионах, срок окупаемости установки в которых не превышает 25 лет, а именно вблизи городов Петропавловск-Камчатский, Астрахань и Екатеринбург. Использование ВЭУ по сравнению с централизованным электроснабжением в районах этих городов принесет прибыль 186 210 р., 138 424 р. и 112 936 р. в течение срока эксплуатации установки (табл. 3).

Несмотря на то, что в большинстве регионах срок окупаемости ВЭУ превышает срок ее эксплуатации, намного целесообразнее использовать ВЭУ в качестве источника электроснабжения по сравнению с дизель-генераторной установкой или питанием от централизованного источника электроснабжения. Для обоснования этого утверждения были проведены расчеты денежных затрат (ДЗ) при использовании различных источников электроснабжения, результаты которых приведены в табл. 3.

Электрификация фермерского дома в районе города Пскова с помощью централизованного электроснабжения будет составлять $ДЗ_{Э25}$ = 444 925 р., в то время как затраты на применение ВЭУ будут ниже и составляют $ДЗ_{ВЭУ25}$ = 339 530 р. В регионе Санкт-Петербурга электрификация фермерского дома в течение 25 лет с помощью ВЭУ обойдется в $ДЗ_{ВЭУ25}$ = 30 575 р., экономия денежных средств (ЭК) составляет ЭК = 191 900 р., по сравнению с получением энергии от централизованного источника электроснабжения. Экономия денежных средств от использования ВЭУ также наблюдается в регионах около городов: Астрахань (ЭК = 138 424 р.), Красноярск (ЭК = 112 045 р.), Чита (ЭК = 3590 р.), Петропавловск-Камчатский (ЭК = 186 210 р.), Екатеринбург (ЭК = 112 936 р.). В связи с тем, что в регионе вблизи города Владивосток срок окупаемости ВЭУ составляет 25 лет, то она окупится непосредственно перед истечением срока эксплуатации и экономия денежных средств будут равняться 0.

Вблизи городов Сочи и Якутска нецелесообразно применение ВЭУ, так как затраты на электрификацию с их помощью в 11,7 и 2,6 раз превышают затраты на централизованное электроснабжение объектов. При отсутствии централизованной электрификации объекта вблизи города Сочи эко-

Таблица 3

Денежные затраты на электрификацию индивидуального фермерского дома за 25 лет с помощью различных вариантов электроснабжения

Город	Электричество	ВЭУ	Дизель-генератор
	$ДЗ_{Э25}$, р.	$ДЗ_{ВЭУ25}$, р.	$ДЗ_{ДГ25}$, р.
Псков	444 925	339 530	1 805 175
Санкт-Петербург	222 475	30 575	1 812 175
Астрахань	432 575	**+138 424**	1 670 350
Сочи	293 875	3 417 525	1 693 125
Красноярск	363 900	251 855	1 815 100
Чита	280 150	276 560	1 910 800
Якутск	491 625	1 305 030	2 166 450
Салехард	267 650	381 845	1 724 625
Петропавловск-Камчатский	465 525	**+186 210**	2 217 225
Владивосток	265 850	0	2 037 450
Екатеринбург	352 925	**+112 936**	1 791 750

номически выгоднее использовать дизель-генераторную установку. По сравнению с ВЭУ она позволит сэкономить $ЭК = 1\,724\,400$ р. за 25 лет использования оборудования. В районе города Якутска выгоднее использовать ВЭУ, так как затраты на использование дизель-генератора (из-за высоких цен на топливо) превышают затраты на использование ВЭУ на 861 420 р. в расчете на 25 лет.

Заключение

Применение ВЭУ на территории России позволяет сэкономить денежные затраты на отопление по сравнению с централизованным электроснабжением и дизель-генератором практически во всех представленных регионах, за исключением регионов вблизи городов Сочи, Якутск и Салехард. Применение ВЭУ в течение 25 лет вблизи городов Петропавловск-Камчатский, Астрахань и Екатеринбург позволит получить прибыль 186 210 р., 138 424 р. и 112 936 р. соответственно.

Список литературы

1. Перминов Э.М., Козлов Б.М. Состояние работ по нетрадиционной энергетике в РАО «ЕЭС России». Энергосбережение в сельском хозяйстве: тр. 2-й Международной научно-технической конференции. — М.: ГНУ ВИЭСХ, 2000. — Ч. 2. — 50 с.

2. Елистратов В.В. Мониторинг развития возобновляемой энергетики в мире и России // Академия энергетики. — 2008. — № 2. — С. 22–44.

3. Рудобашта С.П. Теплотехника. — М.: КолосС, 2010. — 600 с.

4. Кашкаров А.П. Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции. — М.: ДМК Пресс, 2011. — 144 с.

5. Кривцов В.С., Олейников А.М. Неисчерпаемая энергия: кн. 2. Ветроэнергетика: учеб. пособие. — Харьков: Изд-во Политехн. ун-та, 2004. — 520 с.

УДК 631.5:634.721

А.А. Цымбал, *доктор с.-х. наук*

Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

Д.О. Хорт

Всероссийский селекционно-технологический институт садоводства и питомниководства Россельхозакадемии

ОСВОЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЯ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ АГРОТЕХНОЛОГИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЧЕРНОЙ СМОРОДИНЫ

Многолетние исследования и обобщение результатов работ по фотосинтезу, минеральному питанию, водному режиму, продуктивности растений позволили академику ВАСХНИЛ И.С. Шатилову обосновать общие экологические, биологические и агротехнические условия программирования урожаев сельскохозяйственных культур, сформировав десять принципов программирования [1]. Из них пять предназначены для определения величины возможного урожая на основе следующих факторов:

- приход фотосинтетически активной радиации (ФАР) и использование ее посадками;
- биоклиматические показатели;
- влагообеспеченность посадок;
- фотосинтетический потенциал посадок;
- потенциальные способности к продуктивности культуры.

Другие составляют технологическую схему программированного возделывания культур:

- разработка системы удобрения с учетом эффективного плодородия почвы;
- разработка комплекса агротехнических мероприятий для каждой культуры в отдельности;
- всесторонний учет и правильное применение основных законов и закономерностей земледелия и растениеводства;
- разработка конкретных мер по борьбе с болезнями и вредителями растений;
- использование ЭВМ для определения оптимального варианта агротехнических комплексов, обеспечивающих получение высокого урожая.

Применительно к возделыванию черной смородины с учетом результатов научно-экспериментальных исследований в области ягодоводства можно принять, что получение запланированного урожая обеспечивается на основе учета и управления такими основными факторами, как особенности сорта, приход ФАР в течение вегетационного периода, структура посадок (в частности, густота и пространственное размещение растений), наличие базового и дополнительно необходимого в почве набора удобрений, температура воздуха, влажность почвы, достаточность используемых агроприемов, степень механизации технологических процессов и применение экономически оправданных технических средств [2].

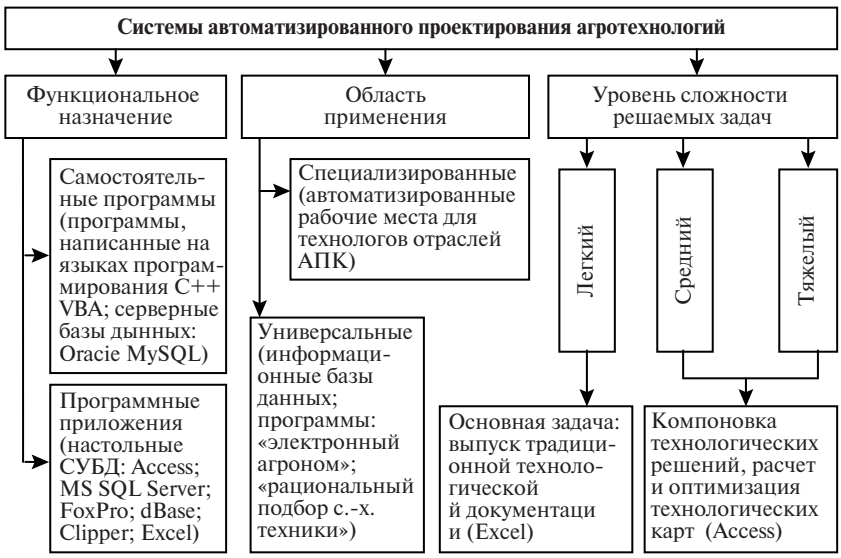


Рис. 1. **Классификация систем автоматизированного проектирования агротехнологий**

Во Всероссийском селекционно-технологическом институте садоводства и питомниководства ВСТИСП Россельхозакадемии ведутся работы по выявлению причин, влияющих на потери ягод, и оцениваются методы и агроприемы, способствующие стабилизации урожайности на экономически выгодном уровне. В частности, поставлена задача по определению различных вариантов машинных технологий возделывания черной смородины, обеспечивающих максимальную реализацию биологического потенциала растений, при условии своевременного учета негативных воздействий природно-климатических условий в критические фазы развития. Например, определение влияния суммарных среднесуточных активных температур на растения в период цветения, на продолжительность цветения и урожайность в целом.

Эффективным решением поставленной задачи является переход от традиционных способов проектирования технологий производства ягод к автоматизированному проектированию (АП) агротехнологий в ягодоводстве.

Для обоснования выбора информационной системы АП разработана классификация систем автоматизированного проектирования агротехнологий (рис. 1).

В соответствии с приведенной классификацией систем, позволяющих эффективно автоматизировать процесс проектирования агротехнологий, в ГНУ ВСТИСП Россельхозакадемии разработана инструментально-экспертная система расчета и проектирования технологий возделывания черной смородины. Реализуется данный проект посредством «Автоматизированного рабочего места технолога-ягодовода» (рис. 2), созданного на основе настольных реляционных СУБД (системы управления базами данных).

Компьютерная модель АРМ ягодовода разработана на базе офисного приложения MS Access.

Созданный программный продукт является результатом освоения принципа использования ЭВМ для определения оптимального варианта агротехнических комплексов, а также предпосылкой и средством для эффективного освоения биоклиматических показателей при проектировании технологии (второй принцип программирования урожая). Для этого разрабатывается и внедряется в систему автоматизированного проектирования и управления машинной технологией модуль по анализу агроклиматических показателей и дальнейшему их учету при программировании урожайности черной смородины [3, 4].

В основе разрабатываемого модуля лежат исследования, суть которых заключается в создании комплексной имитационной модели формирования урожая, основанной на развитых динамических моделях [3]. При этом исходили из того, что программирование урожая включает два этапа: разработку основного проекта получения рассчитанного уровня урожайности и решение задач оптимального управления с целью реализации проекта в конкретных условиях.

На первом (проектном) этапе программирования урожайности проводится расчет с помощью динамической модели «погода–урожай» и использования соответствующих агрометеорологических данных, т. е. в полном объеме реализует-

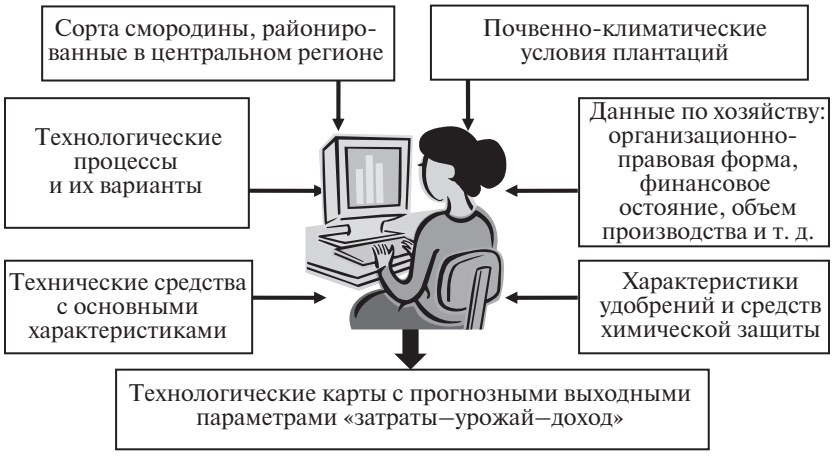


Рис. 2. **Принципиальная схема организации автоматизированного рабочего места технолога-ягодовода (на примере возделывания черной смородины)**

ся второй принцип программирования — «расчет возможных урожаев по биоклиматическому потенциалу». Данный принцип предусматривает правильное использование климатических показателей для обоснования продуктивности насаждений.

В ГНУ ВСТИСП освоение метода «погода–урожай» осуществляется посредством отдельного модуля АРМ-ягодовода и анализа метеоданных, поступающих по сводкам метеорологической станции МК-15 Agro (п. Измайлово Московской области) в систему АРМ. Для примера приведем исходные метеорологические данные, полученные по сводкам станции МК-15 Agro за период вегетации черной смородины в 2006–2008 гг. (см. таблицу).

Анализ метеоданных на плантациях черной смородины п. Измайлово Московской области за период с 15 апреля по 20 августа

Показатель	Год		
	2006	2007	2008
Продуктивность, ц/га	13	9	12
Сумма осадков за период вегетации растений, мм	240	190	220
Сумма температур выше 10 °С, °С	1700,41	1963,9	1855,6
Общая сумма температур за период вегетации, °С	1918,5	2003,0	1957,8
Гидротермический коэффициент (расчетный показатель)	1,41	1,0	1,18

Биологическая продуктивность оценена по показателю биоклиматического потенциала (БКП), полученному П.И. Колосковым [1]:

$$БКП = K_р(\sum T > 10\ °C/1000\ °C), \quad (1)$$

где $K_р$ — коэффициент биологической продуктивности; $\sum T > 10$ °С — сумма температур воздуха выше 10 °С, накапливаемая за период вегетации культуры; 1000 °С — сумма среднесуточных температур выше 10 ° на северной границе земледелия.

Для определения БКП определяют коэффициент биологической продуктивности $K_р$ черной смородины:

$$K_р = П_{max} / П_{min}, \quad (2)$$

где $П_{max}$ — продуктивность смородины при достаточном увлажнении плантации, т; $П_{min}$ — продуктивность смородины при недостатке влаги, т.

По данным Агроклиматического справочника Московской области [5], условным показателем увлажнения плантаций принято считать гидротермический коэффициент (ГТК):

$$ГТК = \sum P \cdot 10 / \sum T > 10\ °C, \quad (3)$$

где $\sum P$ — сумма осадков за вегетационный период смородины, мм.

Причем при ГТК = 1,3...1,5 — территория достаточно увлажнена;

ГТК = 1,2 — территория недостаточно увлажнена;

ГТК = 1,0 и менее — территория засушлива [4].

Подставляя исходные данные в формулы на примере 2008 г., получаем ГТК = 220 · 10/1855,6 = 1,18, т.е в 2008 г. плантации были недостаточно увлажнены.

Аналогично просчитывается ГТК для остальных годов и заносится в таблицу. Из таблицы видно, что 2006 г. — год достаточного увлажнения и 2007 г. — год засухи. По табличным данным определяем коэффициент биологической продуктивности $K_р$ и БКП:

$$K_р = 1,4;\ БКП = 1,4(1700,41 / 1000) = 2,38.$$

Программируемая урожайность основной продукции определяется по формуле (3) в соответствии с методикой Д.И. Шашко [1]:

$$У_п = вБКП, \quad (4),$$

где в — урожайность смородины с 1 га при 2,2 % ФАР в Московской области среднее значение кпд ФАР = 2,2 % — значение, при котором максимально реализуется средняя продуктивность сорта [5].

Таким образом, получаем программируемую урожайность черной смородины с учетом ее биоклиматического потенциала [1]:

$$У_п = 20 \cdot 2,3 = 46\ т/га.$$

Учет и использование описанных в статье принципов программирования урожая является одним из основных мероприятий при переходе к автоматизированному проектированию технологий производства черной смородины. А дальнейшее развитие этого направления позволит решать различные оптимизационные задачи при управлении продукционным процессом производства черной смородины.

Список литературы

1. Каюмов М.К. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур. — М.: Агропромиздат, 1989. — 320 с.

4. Бейлис В.М. Продолжительность проведения механизированных полевых сельскохозяйственных работ. — М.: ВИМ, 2005. — 164 с.

3. Болдырев Н.К., Липкина Г.С., Могиндовид Л.С. Планирование урожая по данным полевых опытов. — М.: ВАСХНИЛ, 1979. — 50 с.

2. Справочник ягодных культур. — М.: Агропромиздат, 1988. — 238 с.

5. Агроклиматический справочник по Московской области. — М.: Московский рабочий, 1967. — 136 с.

6. Сборник методических материалов по комплексной механизации растениеводства. — М.: ВИМ,1968. — 76 с.

УДК 621.31

З.Г. Иванова
Н.Л. Макарова
Марийский государственный университет

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ В ОБМОТКАХ СУХИХ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Широкое применение в системах электроснабжения находят силовые малогабаритные трансформаторы с сухой изоляцией, которые менее пожароопасны, требуют меньших затрат при их эксплуатации.

Однако они обладают низким уровнем изоляции по сравнению с маслонаполненными трансформаторами, что вызывает их отказы, связанные с витковыми замыканиями.

Выявление витковых замыканий требует высокой квалификации персонала, использование различных типов приборов и занимает много времени. Поэтому важной задачей является разработка новых типов технических средств для диагностирования указанных трансформаторов, обеспечивающих своевременное обнаружение и устранение выявленных дефектов.

Следовательно, задача разработки информативных, точных и быстродействующих средств для оценки работоспособности сухих силовых трансформаторов является актуальной.

На первом этапе исследования был выполнен расчет резонансных частот работоспособного трансформатора, а затем экспериментальные замеры для получения АЧХ. Полученная резонансная частота служила в качестве опорной для сравнения с полученными результатами при моделировании витковых замыканий в различных частях обмотки. Отличие расчетной величины основной резонансной частоты обмотки ВН от экспериментально полученной составило не более 8 % ($\Delta < 5{,}3$ кГц).

На следующем этапе проводились эксперименты по моделированию витковых замыканий по высоте обмотки в верхней, средней и нижней частях фаз А, В и С. При проведении экспериментальных исследований по снятию частотных характеристик в обмотках ВН моделировали в одной из фаз обмотки витковое замыкание шунтированием определенного числа (2,5, 5, 7,5 и 10 %) замкнутых витков в характерных зонах по высоте обмотки.

В результате теоретических и экспериментальных исследований было установлено, что возникновение витковых замыканий в трансформаторе ТСЗ-630/10 (от 2,5 до 10 % на разных участках обмотки ВН) оказывает влияние на изменение индуктивности. При этом происходит смещение основной резонансной частоты обмотки [1, 2]. На основании полученных результатов возможна разработка технического устройства, позволяющего провести экспресс-анализ трансформаторного оборудования, целью которого является:

- определение наличия и местоположения витковых замыканий в обмотках;
- оценка масштаба полученного повреждения.

На наличие витковых замыканий в обмотке трансформатора указывает сам факт смещения основной резонансной частоты (рис. 1).

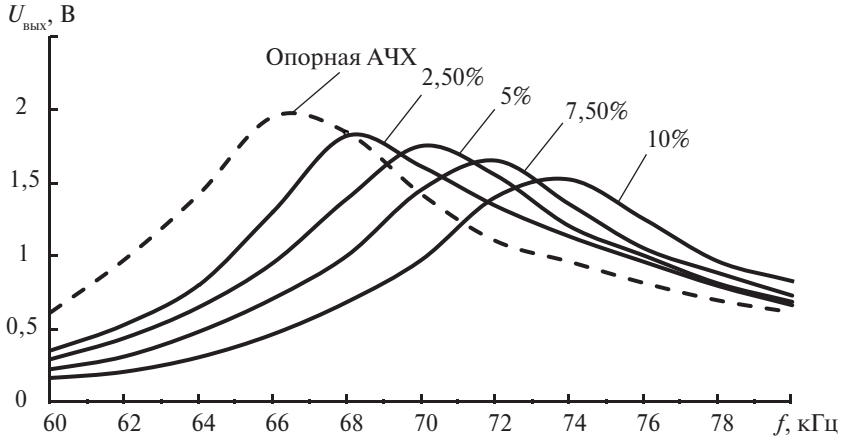


Рис. 1. **АЧХ фазы А (поврежденная фаза) при витковом замыкании в верхней части обмотки ВН**

Оценка масштаба повреждения производится путем определения величины смещения резонансной частоты Δf относительно основной (опорной) резонансной частоты АЧХ обмотки, снятой при вводе трансформатора в эксплуатацию.

Функциональная схема устройства для выявления витковых замыканий в обмотках сухих трансформаторов показана на рис. 2.

Принцип работы устройства следующий: генератор *9* вырабатывает синусоидальные высокочастотные импульсы (например, пакет из шести импульсов вышеупомянутых частот), а сблокиро-

ванный с ним усилитель усиливает эти импульсы, компьютер *8* по заданной программе дает команды генератору *9* на чередование длительности и паузы сигналов, а также порядок чередования импульсов, (пакет должен различать «свой не свой» в помехах сети). Этот пакет импульсов через фильтр *5* от помех и фильтр *3* с помощью кабеля поступет на низковольтные вводы *1* контролируемого силового трансформатора. Пакет импульсов, пройдя через обмотки контролируемого трансформатора *1*, поступает на соответствующие выводы трансформатора и с помощью кабеля поступает на ввод фильтра *2*, а с его выхода через фильтр *4* от помех и согласующий блок *6* поступает в компьютер *8*. Базовые сигналы этого пакета импульсов от генератора *9* через согласующий блок *7* поступает также на компьютер *8*. К блоку электропитания *10* подключены компьютер *8*, генератор *9*, а от них запитаны блоки *6*, *7* и фильтры *2–5* устройства. Компьютер *8* по заданной программе производит расчет резонансных частот и их смещение от опорных значений. В дальнейшем делается сравнение текущих величин с первыми и предыдущими значениями, хранящимися в памяти компьютера. В память компьютера внесены все контролируемые объекты с измеренными величинами и накопительно последние замеры. По динамике изменения измеряемых величин прогнозируется время отбраковки контролируемых трансформаторов, что позволяет обеспечить работоспособность сухих силовых трансформаторов.

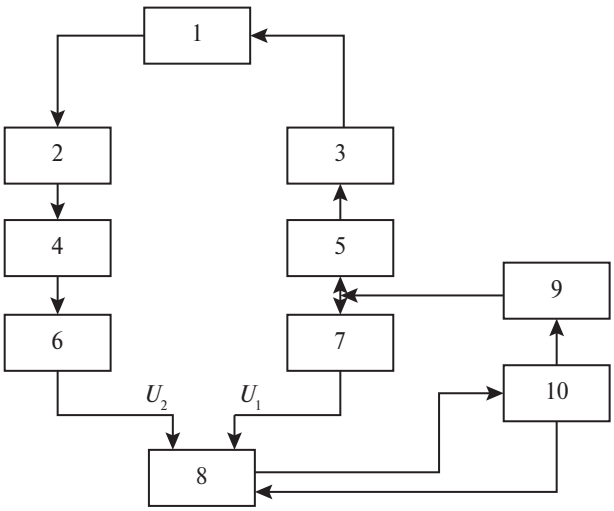


Рис. 2. **Функциональная схема устройства для выявления витковых замыканий:**
1 — объект исследования (силовой сухой трансформатор); 2–5 — фильтры; 6, 7 — согласующие блоки; 8 — компьютер; 9 — генератор высокочастотных сигналов с усилителем; 10 — блок питания

Список литературы

1. Градов А.А., Макарова Н.Л. Экспериментальные исследования витковых замыканий // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. — 2012. — № 10. — С. 32–37.

2. Макарова Н.Л., Ахметшин Р.С. Диагностирование состояния изоляции силовых трансформаторов сельских электрических сетей: монография. — М.: ФГБОУ ВПО МГАУ, 2012. — 90 с.

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

УДК 665:631.3.004.12

В.П. Коваленко, *доктор техн. наук*
Е.А. Улюкина, *канд. техн. наук*
А.С. Новик
Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина»
А.Н. Приваленко, *канд. техн. наук*
25 ГосНИИ химмотологии МО РФ

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Качество нефтепродуктов определяют совокупностью их потребительских свойств, наиболее важными из которых являются эксплуатационные. Эти свойства оценивают показателями и признаками качества, характеризующими состав, физико-химические свойства нефтепродукта, а также процессы, протекающие при использовании этих продуктов.

При транспортировании, хранении и применении качество нефтепродуктов изменяется. Главными причинами, вызывающими изменение качества нефтепродуктов, являются процессы, обусловленные их взаимодействием с окружающей средой (атмосферным воздухом, конструкционными материалами и т. д.), а также с другими марками нефтепродуктов. Помимо названных причин изменение качества нефтепродуктов происходит в результате процессов, протекающих при эксплуатации устройств, где данный продукт применяют. Протекающие при транспортировании, хранении и применении нефтепродуктов процессы вызывают испарение, загрязнение, обводнение, окисление, осмоление, термическое разложение и смешение нефтепродуктов, срабатывание содержащихся в них легирующих присадок, а при определенных условиях — микробиологическое поражение нефтепродуктов [1]. Поэтому контроль качества нефтепродуктов требуется на всех этапах их жизненного цикла.

Контроль качества нефтепродуктов осуществляется в стационарных и мобильных лабораториях. Стационарные лаборатории размещаются автономно, обслуживая потребителей региона, или на крупных нефтебазах, осуществляя контроль качества нефтепродуктов на данном объекте при их приеме, хранении и выдаче. Мобильные лаборатории делятся на подвижные, передвижные и переносные.

Подвижные лаборатории размещаются в кузове-фургоне на базе шасси автомобиля или автоприцепа. В сельском хозяйстве подвижные лаборатории в полевых условиях практически не используются.

Передвижные лаборатории, представляющие собой комплект оборудования и реактивов, разме-

шенных в контейнере и перевозимые различными видами транспорта, обеспечивают контроль качества нефтепродуктов стандартными и экспресс-методами на нефтескладах и в местах потребления нефтепродуктов.

Переносные (ручные) лаборатории размещаются в специальных ящиках или футлярах и служат для экспресс-контроля нефтепродуктов в местах их потребления. Для контроля качества нефтепродуктов в полевых условиях при эксплуатации сельскохозяйственной техники наиболее пригодны переносные лаборатории.

Одним из основных показателей качества нефтепродуктов, способным резко ухудшаться в процессе транспортно-складских и заправочных операций, а также при эксплуатации техники, является чистота этих продуктов, т. е. содержание в них механических загрязнений и воды. Оперативный контроль содержания механических загрязнений и воды в топливе и маслах непосредственно перед заправкой этими продуктами тракторов и самоходной сельскохозяйственной техники может осуществляться с помощью прибора ПОЗ-Т (рис. 1), состоящего из разъемного датчика с калиброванным отверстиями, в которых закладывается индикаторный элемент механизма открытия датчика, выполненного в виде подпружиненного рычага с запирающим устройством, и шприца-дозатора объемом 50 мл [2].

Индикаторный элемент представляет собой двухслойный отрезок аналитической ленты, скрепленный по одному краю, белый слой которого, обращенный к подвижной части датчика, пропитан солью трехвалентного железа, а желтый слой пропитан индикаторами (желтой и красной кровяной солью). Принцип работы прибора при определении содержания в продукте механических загрязнений заключается в сравнении отпечатка, полученного на белом слое индикаторной ленты при прохождении через него топлива, с эталонным образцом, приложенным к прибору. Принцип действия прибора при определении содержания воды заключается в изменении окраски индикаторного элемента под воздействием содержащейся в продукте эмульсионной воды при его дифференцированном фильтровании через этот элемент. Количество воды определяется по интенсивности образовавшихся на индикаторном элементе отпечатков, появляющихся при прохождении продукта с различной скоростью через калиброванные отверстия разного диаметра. При наличии в продукте эмульсионной воды в количестве 0,001 % (масс.) появляется один малый и один едва заметный отпечатки, при увеличении содержания воды до 0,002 % (масс.) появляются два четких отпечатка. При определении с помощью прибора ПОЗ-Т содержания эмульсионной воды в дизельных маслах последние разбавляются дизельным топливом, предварительно проверенным на отсутствие воды, в соотношении 1:20, а после проведения анализа производится расчет содержания воды в масле.

Наряду с массовым содержанием в топливе и маслах эмульсионной воды и твердых загрязнений большое влияние на работоспособность агрегатов и систем сельскохозяйственной техники оказывают размеры твердых частиц, от которых зависит интенсивность абразивного износа прецизионных пар и забивки калиброванных отверстий. До настоящего времени значение этого показателя не лимитировалось.

Для оценки размеров твердых частиц, загрязняющих нефтепродукты, целесообразно использовать эффект обтекания, возникающий в тонком слое текущей жидкости при наличии в ней указанных частиц. Использование эффекта обтекания позволяет существенно повысить эффективность фиксации мелких частиц без применения сложных оптических устройств, благодаря чему можно определить максимальный размер содержащихся в жидкости частиц, что является наиболее актуальной задачей в области обеспечения чистоты нефтепродуктов при эксплуатации тракторов и сельскохозяйственных машин.

Метод контроля чистоты жидкостей с использованием эффекта обтекания основан на том, что при наблюдении в проходящем свете тонкого слоя жидкости, стекающего по наклонной поверхности, в случае оседания на этой поверхности твердых частиц над ними происходит утолщение стекающего слоя жидкости и возникают возмущения ламинарного течения этого слоя в виде завихрений и ряби. Определить размер находящейся в жидкости частицы можно по величине возникающего из-за нее возмущения, т. е. по высоте образующейся волны. Однако определить высоту волны или ее проекцию на плоскость, перпендикулярную наклонной поверхности и расположенную вдоль этой поверхности без использования достаточно сложных приспособлений, не представляется возможным, поэтому целесообразно увязать размеры частицы с длиной возникающей волны.

Описание явления обтекания жидкостью твердых частиц только на основании законов гидроди-

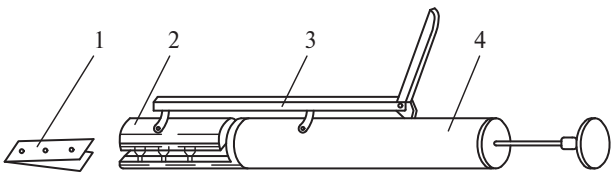


Рис. 1. **Прибор ПОЗ-Т для определения содержания загрязнений в нефтепродуктах:**
1 — индикаторный элемент; 2 — датчик с калиброванными отверстиями; 3 — механизм открытия датчика; 4 — шприц-дозатор

намики является весьма сложной задачей, поэтому для ее решения имеет смысл воспользоваться теорией комплексных чисел. Рассматриваемый случай течения жидкости можно представить, как несовершенный (волнистый) гидравлический прыжок (прыжок-волну) [3], который состоит из ряда последовательных, постепенно затухающих волн [4]. При оценке эффекта обтекания с целью определения размеров обтекаемой частицы затухающими волнами можно пренебречь, а рассмотреть профиль лба прыжка-волны и высоту первого гребня волны (рис. 2). Сделаем допущение, что первый гребень можно рассматривать в виде уединенной волны. При решении нелинейной задачи об уединенной волне используется метод конформных отображений, в частности, принцип сжатых отображений [5]. В результате получены выражения для определения глубины потока над вершиной первого гребня прыжка-волны:

$$\eta_в = \frac{1}{2}\mathrm{Fr}^2\left\{1 - \exp\left[-4\ln\mathrm{Fr}\left(1+\frac{3}{2}\ln\mathrm{Fr}\right)\right]\right\}, \quad (1)$$

где $\eta_в = \frac{h_в}{h_0}$ — безразмерная глубина под вершиной волны; h_0 и $h_в$ — соответственно глубина невозмущенного потока и потока под вершиной волны, м; $\mathrm{Fr} = \frac{V_0}{\sqrt{gh_0}}$ — критерий Фруда; V_0 — скорость невозмущенного потока (зависит от угла наклона поверхности), м/с.

Уравнение (1), описывающее профиль лба прыжка-волны, имеет весьма сложный вид. Для рассматриваемого случая его можно представить в более простой форме:

$$\eta_в = 1 + (h_в - 1)\mathrm{ch}^2\left(\frac{x}{h}\sqrt{\frac{3}{2}\ln\mathrm{Fr}}\right), \quad (2)$$

где h — глубина потока, м, на произвольном расстоянии x от вершины волны, м.

Отсюда можно определить длину лба-прыжка волны l, которая равна расстоянию от вершины волны до точки, где глубина потока h практически не отличается от глубины невозмущенного потока $h_0\left(\frac{h}{h_0} \le 1{,}01\right)$.

Таким образом,

$$l = \left[\sqrt{\frac{2}{3}}\ln\mathrm{FrArch}\left(10\sqrt{\eta_в - 1}\right)\right]h_0. \quad (3)$$

Угол волнового склона лба прыжка-волны α_0 (максимальный угол наклона поверхности потока в точке перегиба) определяется из такого выражения:

$$\alpha_0 = \mathrm{arctg}\left[\frac{2}{3}(\eta_в - 1)\sqrt{1\ln\mathrm{Fr}}\right]. \quad (4)$$

Для контроля чистоты жидкостей с использованием эффекта обтекания разработан прибор ПОРЗ, состоящий из наклонного лотка с прозрачным дном и расположенного под ним источника света, смонтированных на регулируемой подставке. Принцип работы прибора основан на том, что при наблюдении в проходящем свете тонкого слоя жидкости, стекающего по наклонной поверхности, в случае оседания на этой поверхности твердых частиц над ними происходит утолщение стекающего слоя жидкости и возникают возмущения ламинарного течения этого слоя в виде завихрений и ряби.

Зависимость между углом волнового склона лба прыжка-волны и размером частицы устанавливается из предположения, что угол обтекания частицы α равен углу волнового склона α_0. Из приведенных выражений видно, что чем больше высота волны, зависящая от размера частицы, тем больше угол волнового склона лба прыжка-волны и соответственно больше длина волны. По этому показателю можно с достаточной степенью точности определить размер частицы, из-за возмущающего действия которой возникла данная волна. Эту связь можно выразить в виде таблицы:

Размер частицы, мкм	5	10	20	30	40
Длина волны, мкм	20	40	81,3	126	154

Таким образом, предложенным методом можно без помощи оптических приспособлений фиксировать в рабочей жидкости частицы размером 10 мкм и более, что позволит в условиях эксплуатации гидравлических систем выявлять наличие в них загрязнений, размеры которых превышают существующие требования.

Для контроля качества нефтепродуктов при их хранении, транспортировке и заправке сельскохозяйственной техники разработан ряд портативных комплексов.

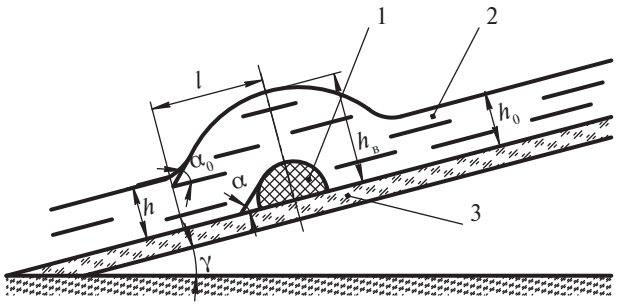


Рис. 2. **Расчетная схема для определения длины волны при обтекании частицы потоком рабочей жидкости:** 1 — частица; 2 — слой рабочей жидкости; 3 — прозрачная поверхность с углом наклона γ

Во ВНИИТиН Россельхозакадемии разработана переносная экспресс-лаборатория для контроля качества работающих масел. С использованием ее оборудования по разработанным специальным методикам можно оценить приведенные показатели у моторных масел [6].

Применение экспресс-методов определения основных эксплуатационных показателей нефтепродуктов (содержание воды, максимальный размер механических загрязнений и кинематическая вязкость) позволяет за минимальный промежуток времени дать достаточно точную информацию о качестве нефтепродукта во время его транспортировании, хранении и применении при эксплуатации сельскохозяйственной техники.

Список литературы

1. Коваленко В.П., Турчанинов В.Е. Очистка нефтепродуктов от загрязнений. — М.: Недра, 1990. — 160 с.

2. Жулдыбин Е.Н., Коваленко В.П., Турчанинов В.Е. Способы и средства обезвоживания нефтепродуктов. — М.: ЦНИИТЭНефтехим, 1985. — 60 с.

3. Штеренлихт Д.В. Гидравлика. — М.: Энергоиздат, 1991. — 522 с.

4. Турсунов А.А. Теоретические основы расчета береговых безнапорных водостоков больших плотин. — Л.: ЛПИ, 1970. — 128 с.

5. Алексиков Ю.З., Смышляев П.П. Теория функции комплексного переменного. — М.: Наука, 1970. — 250 с.

6. Остриков В.В., Клейменов О.А., Баутин В.М. Смазочные материалы и контроль их качества в АПК. — М.: Росинформагротех, 2003. — 154 с.

УДК 631.3:004–192

В.А. Семейкин, *доктор экон. наук*
А.С. Дорохов, *доктор техн. наук*
Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

Оценку эффективности входного контроля качества сельскохозяйственной техники и запасных частей можно осуществлять на ЭВМ с помощью специальной компьютерной программы (рис. 1), а также графоаналитическим методом.

Компьютерная программа позволяет формировать отдельные исходные данные по методу статистических испытаний на основании законов распределений, построенных по результатам исследований. Выбор необходимых для оценки параметров

Рис. 1. **Вид окна для ввода данных программы оценки эффективности входного контроля**

эффективности входного контроля и нужных для анализа диаграмм осуществляется в отдельных диалоговых окнах программы [1].

Последовательность выбора параметров и ввода исходных данных следующая. Выбирается тип машины, и вводятся численные значения параметров поставки и производственной характеристики техники. План входного контроля формируется в поле его параметров в виде внесения численных значений или случайно по методу статистических испытаний [2].

После внесения всех необходимых исходных данных выбирается кнопка «Параметры оценки эффективности входного контроля качества», которая открывает новое диалоговое окно для выбора показателей оценки эффективности входного контроля. Далее с помощью кнопки «Рассчитать» выводится диалоговое окно с численными значениями показателей эффективности входного контроля качества.

В случаях если нет возможности использовать компьютерную программу оценки эффективности входного контроля или необходимо оперативно оценить эффективность организации входного контроля качества сельскохозяйственной техники и запасных частей, можно воспользоваться специально построенной номограммой (рис. 2, 3), которая отражает следующие основные показатели: качество входного контроля, готовность машин, экономическую эффективность и срок окупаемости затрат.

Номограмма строится для каждой конкретной марки машины или вида запасных частей в следующей последовательности.

Вначале строится график зависимости показателя качества входного контроля, полученного от гаммы факторов, влияющих на него, по формуле

$$P_к = 0{,}018e^{0{,}3799\gamma}.$$

Далее строится зависимость прироста готовности от значений показателя качества.

Для определения экономической эффективности входного контроля качества строится график ее зависимости от прироста готовности машин. Определение срока окупаемости затрат на входной контроль осуществляется по графику его зависимости от экономической эффективности.

Таким образом, построена номограмма для определения основных показателей эффективности входного контроля качества сельскохозяйственной техники и запасных частей. После построения номограммы ее использование не представляется затруднительным и является оперативным.

«Ключ» пользования номограммой:

на правой оси гаммы факторов γ устанавливаем точку, соответствующую заданному значению (например, 0,85);

из этой точки восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с линией графика, а затем параллельно оси гаммы факторов γ восстанавливаем

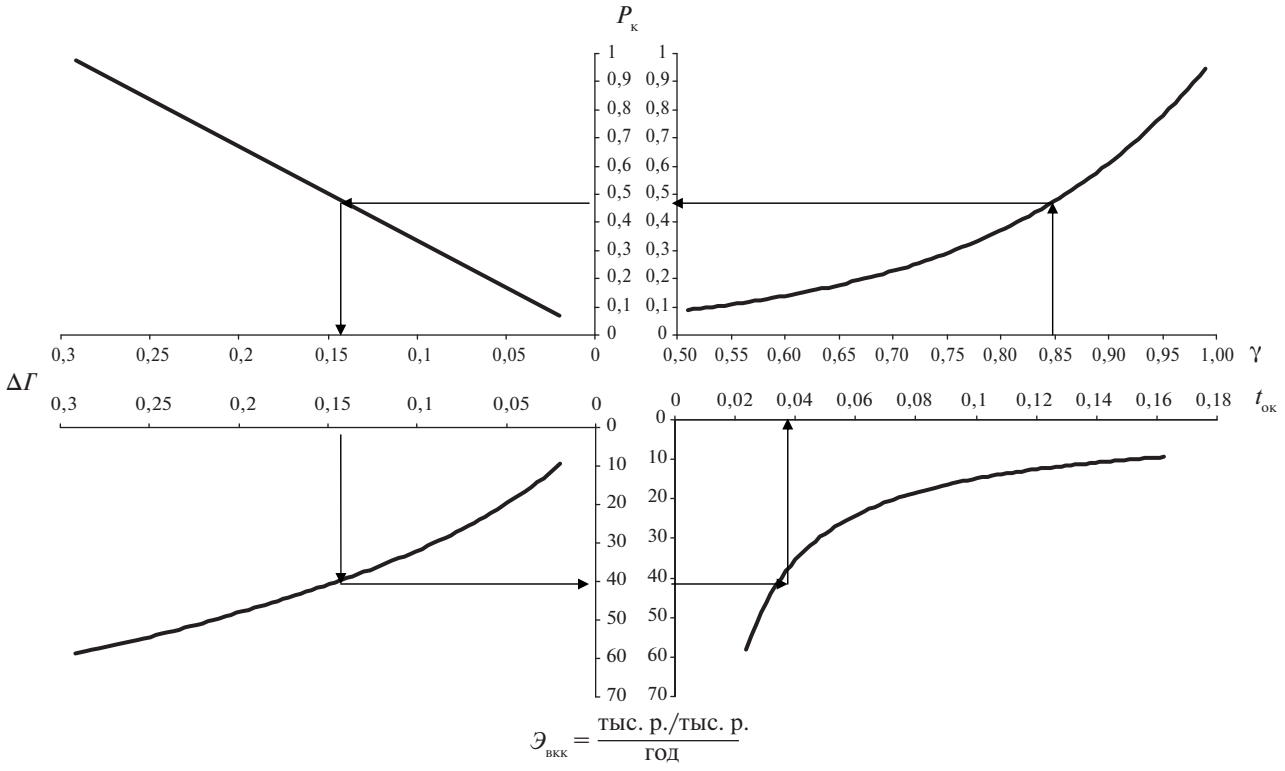


Рис. 2. **Номограмма определения показателей эффективности входного контроля качества сельскохозяйственной техники**

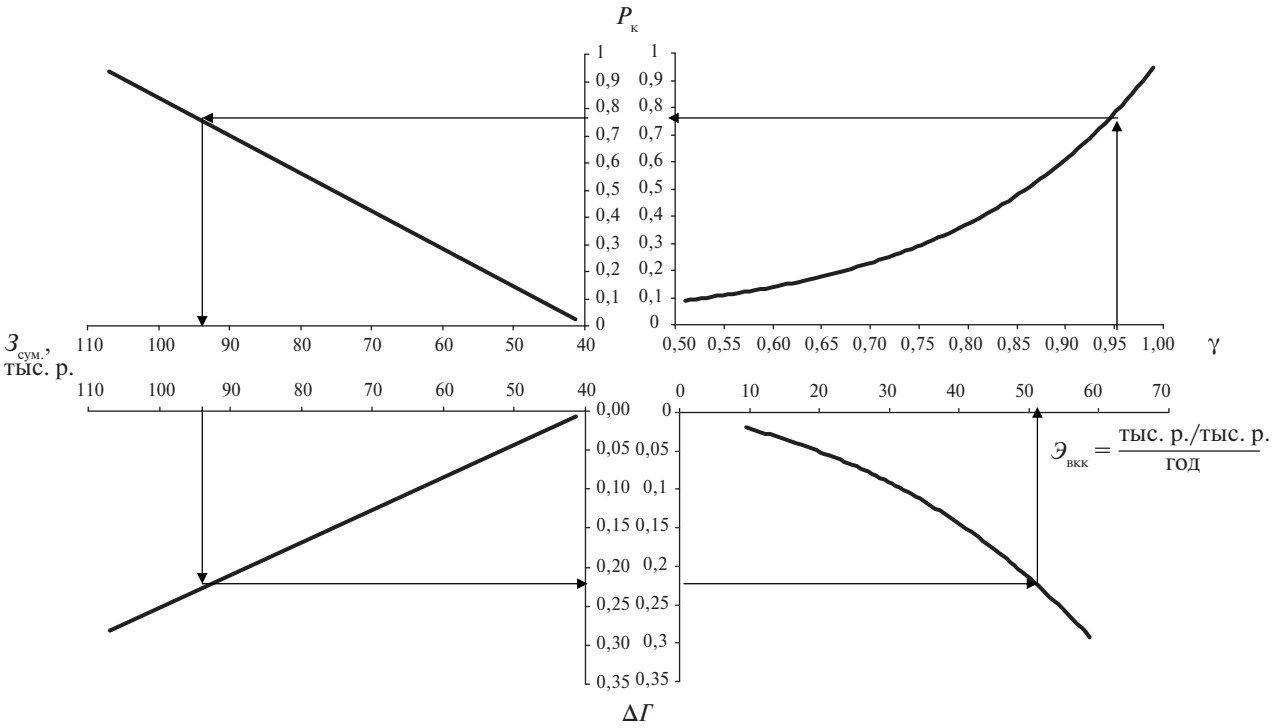


Рис. 3. **Номограмма определения показателей эффективности входного контроля качества сельскохозяйственной техники**

перпендикуляр на ось показателя качества $P_к$ и получим его значение (например, 0,48);

для определения прироста готовности перпендикулярно оси показателя качества $P_к$ из установленной точки его значения проводим линию до пересечения с кривой графика и, восстанавливая вниз перпендикуляр до пересечения с осью прироста готовности $\Delta Г$, получаем его значение (например, 0,14);

из полученной точки восстанавливаем перпендикуляр до пересечения линии графика, а затем из точки пересечения восстанавливаем перпендикуляр до оси экономической эффективности $Э_{вкк}$;

в точке пересечения этого перпендикуляра с осью $Э_{вкк}$ считывается значение экономической эффективности внедрения входного контроля качеств (40 (тыс. р./тыс. р.)/год);

далее из точки оси $Э_{вкк}$ восстанавливается перпендикуляр до пересечения с линией графика, характеризующего срок окупаемости;

из полученной точки пересечения восстанавливается перпендикуляр к оси срока окупаемости $t_{ок}$ и получаем значение срока окупаемости (0,038 года).

Примеры технико-экономического обоснования и опытного внедрения рекомендаций по совершенствованию входного контроля качества сельскохозяйственной техники и запасных частей в Московской, Самарской, Тамбовской областях и в других регионах позволяют делать оптимистические выводы о целесообразности развития такого метода повышения готовности машин. Распространение и развитие входного контроля качества сельскохозяйственной техники и запасных частей в целом по стране будет способствовать дальнейшему повышению эффективности использования машинно-тракторного парка. Обоснование экономической эффективности внедрения рекомендаций по совершенствованию входного контроля качества на примере конкретного региона позволит убедиться в целесообразности их широкого внедрения.

Список литературы

1. Семейкин В.А., Дорохов А.С. Методика моделирования оценки эффективности входного контроля качества техники // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. Экономика и организация производства в АПК. — 2009. — № 8/1 (39). — С. 30–33.

2. Дорохов, А.С. Входной контроль качества машиностроительной продукции, поставляемой сельскому хозяйству: монография. — М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2010. — 212 с.

УДК 331:681.5

В.Т. Сергованцев, *доктор техн. наук*
Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

УПРАВЛЯЕМОСТЬ ДВИЖЕНИЙ В МИРЕ

Известно, что в Мире все находится в движении. Остановить движения Мира человеку не дано. Но движения можно и нужно изменить, ибо человек перегрузил Землю и встал на путь движения к катастрофе [1]. Динамика изменения параметров мира, характеризующих перегруженность планеты (рост населения, промышленного производства, мощности энергопотребления, вырубки лесов, деградации земель, потребности продуктов питания и др.), описывается геометрической прогрессией и представляет собой экспоненциальный закон:

$$N(t) = N_0 e^{kt}, \qquad (1)$$

где $N(t)$ — показатель функции изменения параметра (развития, деградации); t — время изменения; N_0 — начальное значение параметра; k — темпы изменения (роста) параметра.

Экспонента идет в бесконечность, а Земля имеет конечные пределы роста. «Нестыковка» обещает катастрофу. Возникает вопрос: что же движет человечество к катастрофе? В капитализме ли только причина [2]? Можно ли и как предотвратить катастрофу? Почему так построен мир?

Мы знаем, что движение есть вектор, который в Мире может иметь два противоположных направления [3]:

1) вектор развития — движение от простого к сложному; возрастает сложность, упорядоченность и иерархичность Мира;

2) вектор разрушения — движение от сложного к простому (однообразному) состоянию.

Вектор разрушения ведет к росту энтропии и описывается вторым началом термодинамики, а вектор развития ведет к росту негэнтропии и описывается понятиями синергетики. Более того, процесс развития природы связан еще с двумя законами мироздания — с процессом минимизации удельного расхода энергии (ресурсов) на создание единицы движения и с возрастанием иерархии развивающихся систем. Вот эти законы (вектор разрушения, вектор развития, рост иерархии и минимум удельного расхода энергии на создание движения) составляют фундамент и основу движения в Мире [4–6].

Понятно, что, если есть движение, то должен быть и двигатель. А двигателю нужна энергия. И чтобы изменить движение, т. е. создать процесс развития, нужно воздействовать на двигатель. Воздействие на двигатель есть управление. А в системах управления генераторами (создателями) движения являются или разум, или автомат [7]. Все это вместе создает систему управления со структурой

$$(\underset{цль}{\downarrow}\ \underset{инф}{\downarrow}\ \text{СУ}\ \underset{упр}{\uparrow});\text{Эн} \overset{1}{\Rightarrow} \underset{упр}{\downarrow}\ \text{ДВ} \overset{2}{\Rightarrow} \text{Двж}\ \underset{инф}{\uparrow}, \qquad (2)$$

где СУ — система управления (автомат, разум), генерирующая движение (создающий модель движения); ДВ — двигатель (объект управления), реализующий движение (преобразующий энергию в движение); Эн — энергия, включая ее носитель; Двж — движение и сам объект движения; *цль* — цель движения; *упр* — управляющее воздействие; *инф* — обратная (информационная) связь в системах управления.

Автоматы и разум имеют разный уровень возможностей в создании движений [4]. Автомат работает по заранее заложенной в него программе. Разум обладает свободой воли и может реализовывать произвольные (волевые) движения. Разум воспроизводит виртуальный мир как отображение (описание) реального Мира в памяти, что составляет знания. Используя знания, разум вырабатывает алгоритмы движений (проекты, действия, решения) и средства их реализации. На основе всего этого разум создает программы — информационные технологии реализации движений. Информационные технологии составляют совокупности средств, методов и программ обработки информации, реализующих алгоритмы управления движениями. И если информационные технологии выходят на энергетические структуры, т. е. имеют связи *упр* и *инф* в выражении (2), они превращаются в автоматы, работающие самостоятельно независимо от разума.

Следовательно, отличие автоматов и разума как генераторов движения в том, что у разума основной функцией является создание новых движений, в том числе и самих автоматов, а у автоматов — реализация движений согласно заложенным в них информационных технологий. Создание самих автоматов также является функцией разума [4]. Можно сделать заключение, что весь окружающий нас *Мир построен по воле разума и действует автоматически, т. е. Мир управляем*.

Итак, аргументами, определяющими движение Мира, являются разум и автоматы. Они управляют движением Мира, в них заложена возможность, позволяющая изменять направление вектора движения, регулировать интенсивность движения. Сле-

довательно, *причину движения Мира к катастрофе надо искать в глобальных управляющих системах, генератором движений в которых являются разум и автоматы*.

Рассмотрим теперь, по какому вектору движется наш Мир.

Можно зрительно видеть, что Мир развивается, главным образом, в части техники и производства, т. е. в части технократической цивилизации. Развитие современной цивилизации идет не по закону минимизации расхода энергии, а, наоборот, растет потребление энергоресурсов планеты, созданных биотой (фауной и флорой).

Сама биота представляет собой автоматически действующую глобальную систему, создающую среду существования живой материи планеты. Ее также следует отнести к глобальным автоматическим системам. Хозяйственная деятельность человечества, в основе которой лежит машинное производство, как раз и перегружает и разрушает эту автоматически функционирующую систему [1].

Следует вывод, чтобы остановить процесс движения Мира к катастрофе, необходимо снять нагрузку с биоты со стороны машинного производства. Как? Понятно, — сокращать энергопотребление, т. е. машинное производство. Но какое государство на это пойдет? Рассмотрим, почему.

Известно, что производство в современном мире работает в основном по законам капиталистической социально-экономической системы, в которой силой движения является конкурентная борьба, а механизмом конкуренции является свободный бизнес. Платой в конкуренции является прибыль. И если капиталист (бизнесмен) не развивает свое производство, не использует НТП, он не выживет как предприниматель. Ему приходится непроизвольно, автоматически вести борьбу за выживание. Следовательно, конкурентная борьба или шире в целом *борьба в Мире есть глобальная автоматическая система, господствующая над человеком, над его разумом* [5].

Борьба — это тот глобальный автомат, который, обладая властью в Мире, и определяет теперешний путь движения цивилизации. Вот та причина, которая ведет Мир по пути к катастрофе. Вопрос в том, как избавиться от глобальной власти этого автомата?

В видимом глобальном плане борьба выступает как механизм развития (эволюции) Мира [5]. Но это кажущееся представление: процесс борьбы у всех на глазах, он затрагивает нас всех, он связан с нашим выживанием. Но если глубже вникнуть в суть борьбы, можно заметить, что выживание есть только плата за процесс борьбы. А чтобы выжить, надо совершенствоваться, приспосабливаться (развиваться). И развитие тут выступает не как сама цель (тем более, глобальная), а как повод, поощрение ведения самого процесса борьбы. Эволюция дана как плата в борьбе за победу.

Действительно, многочисленные исследования показывают, что наблюдаемая эволюция имеет ограниченный диапазон по сравнению с разнообразием Мира [6]. Сама теория Дарвина не дает достаточного ответа на переход из одного вида в другой, особенно для высших живых организмов [7]. Даже перехода от обезьяны к человеку. Исключение составляет лишь технократическая цивилизация, как творение самого человека.

И даже единство всей живой природы, генетических кодов, одинаковости структур организмов и т. д. не может подтверждать эволюцию от автоматического зарождения жизни до человека. Возьмите нашу технократическую цивилизацию. Все здания, сооружения, технические устройства, электронику, даже компьютерные программы мы пытаемся строить из унифицированных «кирпичиков». И это естественно, и при творении Мира.

Итак, чтобы избавиться от власти борьбы, Миру нужно перейти от системы

$$\overset{эвл\ \ цль}{\downarrow}\ (\ \overset{}{\downarrow}\ \text{БРБ}\ \underset{птр}{\overset{реш}{\rightleftarrows}}\ \text{РЗМ})_{\text{УС}}\ \underset{прб}{\overset{отб}{\rightleftarrows}}\ (\text{МИР})_{\text{ОУ}} \qquad (3)$$

к системе

$$\overset{рзв\ \ цль}{\downarrow}\ (\ \overset{}{\downarrow}\ \text{РЗМ}\ \underset{инф}{\overset{упр}{\rightleftarrows}}\ \text{БРБ})_{\text{УС}}\ \underset{инф}{\overset{упр}{\rightleftarrows}}\ (\text{МИР})_{\text{ОУ}}, \qquad (4)$$

где БРБ — борьба (конкуренция) как автоматическая управляющая система в (3) и объект управления в (4); РЗМ — разум как объект управления в (3) и как разумная управляющая система в (4); $(\text{БРБ})_{\text{УС}}$ — управляющая система; $(\text{МИР})_{\text{ОУ}}$ — объект управления; *упр* — управляющее воздействие; *инф* — обратная связь получения информации с объекта управления; *прб*– пробы для естественного отбора; *отб* — естественный отбор; *птр* — потребность в развитии средств борьбы; *реш* — решение в развитии средств борьбы; *эвл* — цель эволюции Мира; *рзв* — цель развития мира; *цль* — цель борьбы, разума, управления.

Цели (*цль*) в системах (3) и (4) — разные. В (3) это цель выживания в конкурентной борьбе. В (4) это цель развития и познания Мира и использования элементов борьбы как мотивации труда человека.

Разум, освобожденный от власти природной борьбы, автоматически приобретает свойство порождать добро. Переход от (3) к (4) означает победу над злом. Модернизируются цели и информационные технологии управления Миром. Вот тот путь, который предотвратить катастрофу человечества. Но как добиться перехода от системы (3) к системе (4)?

Несложно установить, что механизм природной борьбы «заложен» в самом человеке и прояв-

ляется в его эгоистических потребностях. Убрать из человека эгоизм, порождающий зло, означает возрождение в человеке духовно-нравственного начала. Многочисленные наблюдения и исследования показывают, что процессу духовного возрождения способствует повышение уровня истинных знаний у простого народа.

Итак, можно сделать вывод о том, чтобы предотвратить процесс движения человечества к катастрофе, *необходима активная, наступательная борьба с эгоизмом*, *заложенным в природу человека*. Только объединившись в этой активной борьбе, человек сумеет предотвратить движение человечества к катастрофе.

В целом можно заключить, что процессы движения в Мире управляемы. И если мы хотим изменить движения, нам нужно воздействовать на саму управляющую систему, изменяя ее цели и перестраивая информационные технологии глобального управления. Такова проблема разума, освобожденного от власти автомата — от борьбы, проблема борьбы с эгоизмом человеческой власти.

Список литературы

1. Федотов А.П., Плотников С.В. Глобалистика. Основы науки о Земной управляемой цивилизации: курс лекций. — М.: Профиль-2С, 2009. — 312 с.

2. Сергованцев В.Т. Глобалистика. Глобальное управление. Презентация лекций: электронное учебно-методическое пособие. — М.: МИГАУ, 2011. — 195 слайдов.

3. Сергованцев В.Т. Автоматы и разум как генераторы движений // Электротехнологии, электрификация и автоматизация сельского хозяйства // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. — 2004. — № 3(8). — С. 27–30.

4. Сергованцев В.Т. Информационные системы в живой природе // Электрификация, автоматизация и компьютеризация сельского хозяйства: сб. науч. тр. — М.: МГАУ, 2000. — С. 111–119.

5. Сергованцев В.Т. Автоматы и антропогенно перегруженная земля // Экология и сельскохозяйственная техника: материалы 3-й науч.-прак. конференции. — СПб.: СЗНИИМЭСХ, 2002. — С. 35–41.

6. Православное осмысление творение мира // Сб. докладов XIV Международных Рождественских образовательных чтений.– М.: Миссионерско-просветительский центр «ШЕСТИДНЕВ», 2006. — Вып. 2. — С. 463.

7. Иллюстрированное собрание сочинений Чарлза Дарвина. Т. 1. Пер. и ред. К.А. Тимирязева. — М.: Изд-во Ю. Лепковского, 1907. — 436 с.

УДК 502/504 631.311.5

С.К. Тойгамбаев, *канд. техн. наук*
В.А. Шмонин, *доктор техн. наук*
Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина
Н.К. Теловов
Московский государственный университет природообустройства

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕОРИИ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ГЛУБОКОРЫХЛИТЕЛЯ

Основной целью использования глубокорыхлителя является разуплотнение плодородного слоя и плужной подошвы без оборота пласта и повреждения стерни. Применение глубокорыхлителей объемного типа для глубокого рыхления уплотненного слоя почвы с пониженной фильтрацией позволяет достичь улучшения водно-воздушного режима корневого слоя и предотвращения развития эрозии почвы [1–3]. Предлагаемый глубокорыхлитель предназначен для рыхления почвы на глубину 0,5...0,60 м, что позволяет разрушить подпахотный уплотненный слой. При безотвальной технологии взамен зяблевой и весенней вспашек глубокое рыхление почвы на склонах и паровых полях применяют для послеуборочного рыхления и предпосевной обработки стерневых и мульчированных агрофонов, заплывших почв, а также для обработки залежных земель и кормовых угодий, виноградников и садов. Предлагается применять глубокорыхлитель с лемехами (рисунок) с периодичностью обработки один раз в 3–4 года [4]. Глубокорыхлитель, включающий наклонные относительно друга симметричные стойки с лемехами, отличающийся тем, что лемеха передних стоек устанавливаются с междуследием таким образом, чтобы высота образующихся гребней не превышала половины суммы ширины междуследия и лемеха, а толщина стоек второго ряда, отогнутых в противоположную сторону, была меньше толщины стоек первого ряда. Такой способ дает возможность уже в первый год после рыхления получать дополнительный урожай [1].

«Плужная подошва» расположена на глубине 0,25...0,30 м, она образуется при длительной сельхозобработке разными движителями от поверхности и составляет примерно 0,10...0,15 м, что вызывает необходимость глубокого рыхления до 0,30...0,60 м. Таким требованиям вполне удовлетворяет рабочий орган (см. рисунок). Если ис-

пользуется 1, 2 или 3 рабочий орган, то будем иметь соответственно одно-, двух- и трехмодульный.

Выбор времени для глубокой обработки уплотненных почв определяется ротацией культур. Вместе с тем лучше, чтобы глубокая обработка проводилась осенью после уборки урожая и до наступления сезона дождей для аккумуляции влаги. К основным параметрам предлагаемого глубокорыхлителя (см. рисунок) можно отнести: углы резания нижней b_1 и верхней b_2 ступеней; b_3 — углы резание второго ряда стойки; δ_1 — угол нижней боковой режущий стойки; δ_2 — угол верхний боковой режущий стойки; δ_3 — угол нижней боковой режущий стойки второго ряда стойки; ширина лемехов нижней и верхних ступеней (b_1 и b_2). Влияние этих параметров на тяговое усилие и процесс рыхления практически не изучено. Были изготовлены три модели глубокорыхлителя в масштабе 1:2,5.

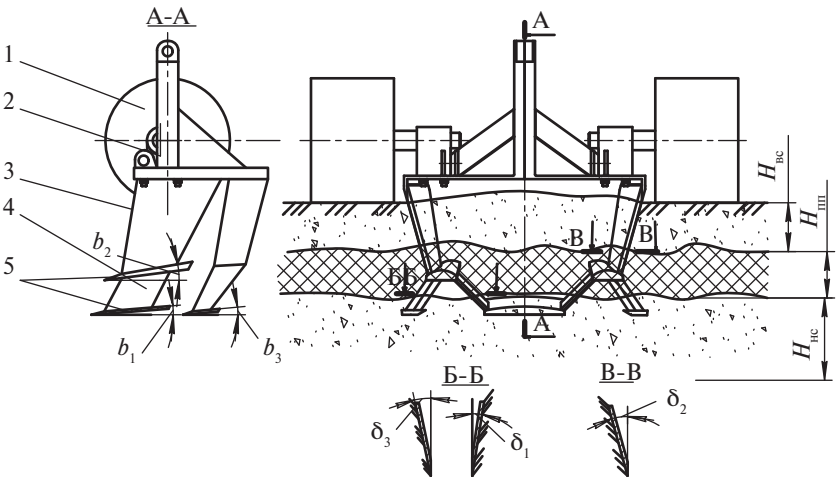


Схема расположения грунтов в разрезе, вид спереди и сбоку в разрезе двухступенчатого двух рядного объемного глубокорыхлителя:
1 — опорное колесо; 2 — рама; 3 — боковая стойка; 4 — нижняя боковая стойка; $H_{вс}$ — грунт естественный обрабатываемого поверхностного верхнего слоя; $H_{пп}$ — грунт уплотненный длительным действием сельскохозяйственных агрегатов; $H_{нс}$ — грунт естественный нижнего слоя; b_1 — угол резания лемеха; δ_1 — угол нижний боковой режущий стойки; b_2 — угол резаний лемехов; δ_2 — угол верхний боковой режущие стойки; b_3 — угол резания лемеха второго ряда стойки; δ_3 — угол нижний боковой режущий стойки второго ряда стойки

Исследование физических модулей проводилось на грунтовом канале в лаборатории кафедры мелиоративных и строительных машин Московского государственного университета природообустройства [2]. При этом приняты: δ — углы резания наклонных стоек относительно оси продольного движения — для нижней ступени: 1) $\delta_1 = 10°$; 2) $\delta_1 = 25°$; и 3) $\delta_1 = 20°$. Соответственно, для верхней ступени: 1) $\delta_2 = 10°$; 2) $\delta_2 = 20°$ и 3) $\delta_2 = 15°$; δ_3 — углы резания второго ряда на всех моделей $\delta_3 = 10°$. Углы резания нижней ступени лемеха, град: 1) $b_1 = 30°$; 2) $b_1 = 40°$; 3) $b_1 = 45°$. Углы резания верхней ступени лемехов, град: 1) $b_2 = 25°$; 2) $b_2 = 30°$; 3) $b_2 = 35°$; b_3 — углы резания второго ряда, $b_3 = 30°$, на всех моделях и другие параметры тоже изменялись, кроме ширины лемеха. Исследования были проведены по схеме полного многофакторного эксперимента. В качестве переменных факторов были приняты глубина рыхления, плотность, влажность почвы и углы установки рабочего органа. Для оценки указанных выше параметров были проведены экспериментальные исследования этих моделей рыхлителей в лаборатории кафедры мелиоративных и строительных машин. В качестве параметров оптимизации были приняты два показателя: тяговое сопротивление движению рабочего органа рыхлителя F_c и качество рыхления $K_{рых}$, которое оценивалось на первом этапе величиной вспученности пласта разрыхляемого грунта по центральной продольной оси. Проведение исследования «классическим способом» — изменение одного фактора при постоянстве остальных требует большого числа опытов, что занимает много времени и малоэффективно [3]. Используя теорию планирования эксперимента, была построена математическая модель, связывающая исследуемый параметр со всеми влияющими на него факторами. Предположим, что в рассматриваемой сложной системе существует функциональная связь между параметрами рабочих органов или их моделей и действующими силами. Тогда в общем виде математическое описание процесса представляется зависимостью (1):

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, ..., X_n), \quad (1)$$

где Y — зависимая переменная (функция) отклика; X_1, X_2, X_3, ..., X_n — независимые переменные.

Полным факторным экспериментом (ПФЭ) называют такой эксперимент, в котором реализуются все возможные комбинации уровней всех факторов. Примем следующие обозначения: X_i^-, X_i^+ и X_{i0} — соответственно нижний, верхний и базовый уровни; DX_i — интервал варьирования. При планировании эксперимента проводим преобразования размерных управляемых независимых факторов X в безразмерные, нормированные [3]:

$$Z_i = (X_i - X_{i0})/\Delta X_i. \quad (2)$$

В этом случае в относительных единицах $Z_i^+ = +1$, $Z_i^- = -1$ независимо от физической природы факторов, значений базовых уровней X_{i0} и интервалов варьирования факторов ΔX_i. В ма-

трицах обычно ставят знак «+» или «–», опуская единицу. Так как изменения выходной величины (отклика) носят случайный характер, то в каждой точке приходится проводить Z параллельных опытов и по результатам наблюдений Y_{i1}, Y_{i2}, Y_{i3}, ..., Y_{iz} находить среднее значение Y_{icp} (обычно $Z \geqslant 3$). Матрица планирования полного трехфакторного эксперимента представлена в табл. 1. С целью исключения систематических ошибок, вызываемых неконтролируемыми переменными, опыты рандомизируют во времени с помощью таблицы случайных чисел (вводится случайность в последовательность их выполнения). На следующем этапе осуществляется проверка воспроизводимости опытов (проверка гипотезы об однородности дисперсии параллельных опытов).

Оценка дисперсии такова:

$$S_i^2 = \frac{1}{Z-1}\sum_{n=1}^{z}\left(Y_{in} - Y_i\right)^2. \qquad (3)$$

Для проверки гипотезы об однородности дисперсий используем критерий Кохрена:

$$G = \frac{S_{i\max}^2}{\sum_{i=1}^{L} S^2\{Y\}}. \qquad (4)$$

Если вычисленное значение критерия окажется меньше критического, то гипотеза принимается, а если больше, то гипотеза отвергается [3]. В данном случае в качестве переменных факторов будут: X_1 — глубина рыхления, см; X_2 — влажность грунта, %; X_3 — плотность грунта. Значения уровней факторов представлены в табл. 2, а результаты опытов — в табл. 3–5.

Величины Y_{icp} и S_y^2 найдем из трех параллельных опытов [3].

Критерий Кохрена

$$G = \frac{S_{i\max}^2}{\sum_{i=1}^{L} S_i^2\{Y\}} = \frac{71}{444} = 0{,}1599.$$

Табличное значение критерия Кохрена [3] для $f_1 = 2, f_2 = 8$ и при уровне значимости 5 % $G_{1-p} = 0{,}5157$; т. е. $G < G_{1-p}$. Следовательно, гипотезу об однородности дисперсии принимаем.

Таблица 1

Матрица планирования полного трехфакторного эксперимента при $m = 3$

№	X_0	X_1 Глубина	X_2 Влажность	X_3 Плотность	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	$X_1X_2X_3$	Y
1	+	–	–	–	+	+	+	–	Y_{11}; Y_{12}; Y_{13}
2	+	+	–	–	–	–	+	+	Y_{21}; Y_{22}; Y_{23}
3	+	–	+	–	–	+	–	+	Y_{31}; Y_{32}; Y_{33}
4	+	+	+	–	+	–	–	–	Y_{41}; Y_{42}; Y_{43}
5	+	–	–	+	+	–	–	+	Y_{51}; Y_{52}; Y_{53}
6	+	+	–	+	–	+	–	–	Y_{61}; Y_{62}; Y_{63}
7	+	–	+	+	–	–	+	–	Y_{71}; Y_{72}; Y_{73}
8	+	+	+	+	+	+	+	+	Y_{81}; Y_{82}; Y_{83}

Коэффициенты уравнения регрессии (5):

$$b_0 = \frac{1}{L}\sum_{i=1}^{L} X_0 Y_i; \qquad (5)$$

1) $d_0 = (90 + 108 + 106 + 143 + 104 + 118 + 104 + 175)/8 = 118{,}5$;

2) $b_0 = (95 + 104 + 106 + 133 + 104 + 120 + 104 + 168)/8 = 116{,}75$;

3) $b_0 = (99 + 108 + 110 + 138 + 105 + 122 + 107 + 170)/8 = 119{,}875$.

Таблица 2

Основные характеристики плана многофакторного эксперимента

Фактор	X_1, см, глубина	X_2, %, влажность грунта	X_3, число ударника ДорНИИ
Базовый	6,0	17	7
Верхний	8,0	20	10
Нижний	4,0	12	4

Таблица 3

Результаты опытов 1-й модели двухступенчатого двухрядного глубокорыхлителя

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	Итого
Y, Н	90	108	106	143	104	118	104	175	946
S_i^2, Н^2	51	55	53	71	50	69	51	52	452

Таблица 4

Результаты опытов 2-й модели двухступенчатого двухрядного глубокорыхлителя

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	Итого
Y, Н	95	104	106	133	104	120	104	168	934
S_i^2, Н^2	52	55	52	70	55	68	55	46	453

Таблица 5

Результаты опытов 3-й модели двухступенчатого двухрядного глубокорыхлителя

№ опыта	1	2	3	4	5	6	7	8	Итого
Y, Н	99	108	110	138	105	122	107	170	959
S_i^2, Н^2	54	57	59	72	56	69	56	48	471

Поэтому

$$b_i = \frac{1}{L}\sum_{i=1}^{L} X_{i\delta} Y_{icp} \ (i = 1, 2, ..., m); \qquad (6)$$

1) $b_1 = (-90 + 108 - 106 + 143 - 104 + 118 - 104 + 175)/8 = 17{,}5$;

2) $b_1 = (-95 + 104 - 106 + 133 - 104 + 120 - 104 + 168)/8 = 13{,}5$;

3) $b_1 = (-99 + 108 - 110 + 138 - 105 + 122 - 107 + 170)/8 = 14{,}63$,

аналогично для b_2 и b_3.

Таким образом,

$$b_{ij} = \sum_{i=1}^{L} Z_{i\delta} Z_{J\delta} Y_{icp} \ (i, j = 1, 2, ..., m, i \neq j): \qquad (7)$$

1) $b_{12} = (90 - 108 - 106 + 143 + 104 - 118 - 104 + 175)/8 = 9{,}5$;

2) $b_{12} = (95 - 104 - 106 + 133 + 104 - 120 - 104 + 168)/8 = 8{,}25$;

3) $b_{12} = (99 - 108 - 110 + 138 + 105 - 122 - 107 + 170)/8 = 8{,}13$,

аналогично и для b_{23} b_{33}.

Подставляем эти коэффициенты в уравнение регрессии:

$$\begin{aligned}
&1)\ Y = 118{,}5 + 17{,}5X_1 + 13{,}5X_2 + 6{,}75X_3 + 9{,}5X_1X_2 + 0{,}75X_2X_3 + 3{,}75X_1X_3 + 4{,}75X_1X_2X_3;\\
&2)\ Y = 116{,}75 + 17{,}5X_1 + 11{,}0X_2 + 7{,}25X_3 + 8{,}25X_1X_2 + 1{,}0X_2X_3 + 5{,}5X_1X_3 + 3{,}75X_1X_2X_3; \qquad (8)\\
&3)\ Y = 119{,}88 + 13{,}5X_1 + 11{,}38X_2 + 14{,}63X_3 + 8{,}13X_1X_2 + 1{,}13X_2X_3 + 5{,}4X_1X_3 + 3{,}38X_1X_2X_3.
\end{aligned}$$

Оценка значимости коэффициентов регрессии проводится с помощью критерия Стьюдента:

$$t_\delta = \frac{|b_\delta|}{S\{b_\delta\}}, \qquad (9)$$

где $S^2_{\{b_\delta\}} = \frac{1}{LZ} S^2_{восп}\{Y\}$ — дисперсия оценки коэффициента b_δ,

$$S^2_{восп}\{Y\} = \frac{1}{L}\sum_{t=1}^{L} S^2_i\{Y\}. \qquad (10)$$

Если найденная величина t_δ превышает значение $t_{1-p/2}$, определенное по таблице (квантили распределения Стьюдента $t_{1-p/2}$) для числа степеней свободы $f = L(Z-1) = 8 \cdot 2 = 16$ при заданном уровне значимости (обычно 5%), то коэффициент признается значимым. Коэффициенты, которые являются незначительными, в дальнейшем исключаются. В данном случае средневзвешенная дисперсия воспроизводимости такова:

$$\begin{aligned}
&1)\ S^2_{восп}\{Y\} = \frac{452}{8} = 56{,}5;\\
&2)\ S^2_{восп}\{Y\} = \frac{453}{8} = 56{,}625; \qquad (11)\\
&3)\ S^2_{восп}\{Y\} = \frac{471}{8} = 58{,}875
\end{aligned}$$

с числом степеней свободы $f = L(Z-1) = 8(3-1) = 16$;

$$\begin{aligned}
&1)\ S^2_{восп}\{Y\} = \frac{1}{8 \cdot 3} \cdot 56{,}5 = 2{,}36;\\
&2)\ S^2_{восп}\{Y\} = \frac{1}{8 \cdot 3} \cdot 56{,}625 = 2{,}359; \qquad (12)\\
&3)\ S^2_{восп}\{Y\} = \frac{1}{8 \cdot 3} \cdot 58{,}875 = 2{,}45;
\end{aligned}$$

1) $S\{b_\delta\} = 1{,}18$; 2) $S\{b_\delta\} = 1{,}179$; 3) $S\{b_\delta\} = 1{,}225$.

По таблице квантилей распределения Стьюдента $t_{1-p/2}$ [3] для $f = 16$, $p = 5\%$, $t_{1-p/2} = 2{,}12$; далее получаем: 1) $|b_i| \geqslant 2{,}12 \cdot 1{,}18 = 2{,}50$; 2) $|b_i| \geqslant 2{,}12 \cdot 1{,}179 = 2{,}499$; 3) $|b_i| \geqslant 2{,}12 \cdot 1{,}225 = 2{,}597$. Так как $b_i < 2{,}597$, то все коэффициенты признаются незначимыми. Таким образом, уравнение регрессии примет следующий вид:

$$\begin{aligned}
&1)\ Y = 118{,}5 + 17{,}5X_1 + 13{,}5X_2 + 6{,}75X_3 + 9{,}5X_1X_2 + 3{,}75X_1X_3 + 4{,}75X_1X_2X_3;\\
&2)\ Y = 116{,}75 + 17{,}5X_1 + 11{,}0X_2 + 7{,}25X_3 + 8{,}25X_1X_2 + 5{,}5X_1X_3 + 3{,}75X_1X_2X_3;\\
&3)\ Y = 119{,}88 + 13{,}5X_1 + 11{,}38X_2 + 14{,}63X_3 + 8{,}13X_1X_2 + 5{,}4X_1X_3 + 3{,}38X_1X_2X_3.
\end{aligned}$$

Проверка гипотезы об адекватности результатов эксперимента полученное уравнение регрессии осуществляется по F-критерию Фишера в следующем порядке: рассчитывают выход Y_i^1 для каждого варианта опыта по уравнению регрессии, из которого исключены незначимые члены; находят разность $Y_i^1 - Y_{icp}$, где Y_{icp} — среднее значение из параллельных опытов; вычисляют дисперсию адекватности.

Таким образом,

$$S^2_{адек} = \frac{Z}{L-d}\sum_{i=1}^{L}\left(Y_i - Y_i^1\right)^2, \qquad (13)$$

где d — число членов аппроксимирующего полинома.

Рассчитывают критерий Фишера по формуле (14):

$$F = \frac{S^2_{адек}}{S^2_{восп}\{Y\}} \qquad (14)$$

и сравнивают полученное значение с табличным [3].

Если вычисленный критерий меньше табличного для соответствующих степеней свободы

$$f_1 = L - d, \qquad (15)$$

$$f_2 = L(Z-1) \qquad (16)$$

Таблица 6

Результаты промежуточных расчетов 1-й модели

Номер опыта	Y_i, Н	$\hat{Y}$, Н	$Y_i - \hat{Y}$, Н	$(Y_i - \hat{Y})^2$, Н^2
1	90	89	1	1
2	108	115	3	9
3	106	99	7	49
4	143	144	1	1
5	104	105	1	1
6	118	111	7	49
7	104	111	7	49
8	175	174	1	1
				∑160

Таблица 7

Результаты промежуточных расчетов 2-й модели

Номер опыта	Y_i, Н	$\hat{Y}$, Н	$Y_i - \hat{Y}$, Н	$(Y_i - \hat{Y})^2$, Н^2
1	95	91	4	16
2	104	117	13	169
3	106	85	21	441
4	133	119	14	196
5	104	96	8	64
6	130	113	17	289
7	104	111	7	49
8	168	170	2	4
				∑1228

Таблица 8

Результаты промежуточных расчетов 3-й модели

Номер опыта	Y_i, Н	$\hat{Y}$, Н	$Y_i - \hat{Y}$, Н	$(Y_i - \hat{Y})^2$, Н^2
1	99	90	9	81
2	108	107	1	1
3	110	93	7	49
4	138	129	9	81
5	105	115	10	100
6	122	119	3	9
7	107	125	18	324
8	170	176	6	36
				∑681

при заданном уровне значимости p (обычно 5%), то уравнение адекватно описывает процесс. Для данного случая промежуточные расчеты проверки на адекватность для удобства сводят в табл. 6–8.

$$1)\ \sum(Y_i - Y)^2 = 160,$$

$$S^2 = \frac{Z}{L-d}\sum_{i=1}^{L}(Y_{icc} - Y_i^1)^2 = \frac{3}{8-4}160 = 120,$$

$$F = \frac{S^2}{S^2_{восп}\{Y\}} = \frac{120}{56{,}5} = 2{,}12;$$

$$2)\ \sum(Y_i - Y)^2 = 1228,$$

$$S^2 = \frac{Z}{L-d}\sum_{i=1}^{L}(Y_{icc} - Y_i^1)^2 = \frac{3}{8-4}1228 = 921,$$

$$F = \frac{S^2}{S^2_{восп}\{Y\}} = \frac{921}{56{,}625} = 16{,}3;$$

$$3)\ \sum(Y_i - Y)^2 = 681,$$

$$S^2 = \frac{Z}{L-d}\sum_{i=1}^{L}(Y_{icc} - Y_i^1)^2 = \frac{3}{8-4}681 = 510,$$

$$F = \frac{S^2}{S^2_{восп}\{Y\}} = \frac{510}{58{,}9} = 8{,}66.$$

Табличное значение критерия Фишера для $f_2 = L(Z-1) = 16$, и $f_1 = 1$ при $p = 0{,}05$; $F_{1-p} = 4{,}5 \geqslant 2{,}12$. Таким образом, уравнение адекватно описывает процесс. Второе и третье уравнения не адекватно описывают процесс. По результатам, полученным в ходе экспериментальных исследований, можно определить полное сопротивление движения рабочего органа при рыхлении, используя рабочую методику приближенного физического моделирования процессов рыхления грунта без изменения его свойств (по В.И. Баловневу), для рабочего органа (рыхлителя) в натуральную величину. По максимальным тяговым сопротивлениям для модели переходят на натуру (проводят расчет рабочих органов натуральных образцов) по формуле (18):

$$F_н = F_м x z i^n, \qquad (18)$$

где z — количество рабочих органов.

В данном случае для глубокорыхлителя это будет таким: для талых грунтов (почв)

$$F_н = 175 \cdot 3 \cdot 3^3 = 14\,175 \text{ Н}.$$

Отсюда полное сопротивление W движению базового трактора ДТ-75 при рыхлении глубокорыхлителем (глубина рыхления $H_р = 0{,}5$ м) определяем по формуле (19):

$$W = mgk + F_н, \qquad (19)$$

где m — масса базовой машины с рабочим органам, кг; $g = 9{,}81$ м/с^2, k — коэффициент сопротивление движению, для грунта суглинок $k = 0{,}1...0{,}2$ [3].

$$W = mgk + F_н = 6500 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}15 + 14\,175 = 23740 \text{ Н} = 23{,}74 \text{ кН},$$

$$T = 30 \text{ кН},\ T > W,\ 30 \text{ кН} > 23{,}74 \text{ кН},$$

$$T < G_{сц}\varphi,\ 30 \text{ кН} < 30{,}7 \text{ кН}.$$

Условие соблюдается, пробуксовывания нет, и тяговые сопротивления преодолеваются базовым трактором с большим запасом. После оптимизации модели были определены приемлемые значения углов крошения. Анализ двумерных сечений полученных усилий для рабочих органов с различ-

ными углами установки режущих элементов позволил выявить рациональную форму и параметры рабочего органа (табл. 9).

Таблица 9

Рекомендуемые основные параметры рабочего органа двухступенчатого двухрядного глубокорыхлителя

Параметр	Значение параметров	
	Для нижней ступени	Для верхней ступени
Угол резания лемеха, град	$b_1 = 30...35$	$b_2 = 20...25$
Углы резания вертикальных стоек относительно оси продольного движения, град	$\delta_1 = 10$	$\delta_2 = 10$
Углы разворота вертикальных стоек относительно оси продольного движения, град	$\beta_1 = 5$	$\beta_2 = 3$
Ширина лемеха, м	$b_1 = 0,2$	$b_1 = 0,10$

Испытания показали следующие результаты. По основным технико-эксплуатационным параметрам глубокорыхлители удовлетворительно агрегатируются с основными отечественными пахотными тракторами:

- одномодульный глубокорыхлитель (типа ГР-0,5.1) — с тракторами тяговых классов 1,4 (МТЗ-82, Т-70В и Т-70С);
- двухмодульный глубокорыхлитель (типа ГР-0,5.2) с тракторами тяговых классов 3–5 (гусеничные ДТ-75, Т-4А, Т-150, колесный РТУ-160);
- трехмодульный глубокорыхлитель (типа ГР-05.3) — с трактором тягового класса 7–10 (К-702, Т-170).

Однообразие качественных и энергетических показателей фронтальных глубокорыхлителей обеспечивается на различных типах почв в условиях умеренного и недостаточного увлажнения. Двухступенчатый двухрядный объемный глубокорыхлитель рекомендуется использовать для рыхления (разрушения) в основном «плужной подошвы» при агрегатирования с тракторами класса 3...10.

В зависимости от класса трактора навесное рабочее оборудование может включать один или три рабочих органа (модуля), расположенных в шахматном порядке (два спереди, один сзади). Сам рабочий орган обладает новизной [4].

Выводы

Объемное рыхление на глубину до 50 см — технологический процесс, обеспечивающий оптимальный влаговоздушный обмен во взрыхленном слое, улучшает микроклимат в почве и обеспечивает:

- хорошую аэрацию и инфильтрацию дождевых и талых вод;
- в несколько раз увеличивается пористость почвы;
- на 20 % повышается водопроницаемость;
- создаются условия для «всасывания», накопления значительных запасов находящейся влаги в почве и воздухе, а также ее перераспределение.

Список литературы

1. Черненок В.Я., Брусиловский Ш.И. Глубокое рыхление осушаемых тяжелых почв. — М.: Колос, 1983. — 64 с.

2. Насыров Н.К., Казаков В.С. Руководство по мелиорации почвенного профиля при комплексной реконструкции оросительных систем (на примере Яванской долины). — Тверь: Агропромиздат, 1990. — 68 с.

3. Практикум по мелиоративным машинам / Ю.Г. Ревин [и др.]. — М.: Колос, 1995. — 204 с.

4. Глубокорыхлитель: пат. № 2150183 Рос. Федерации МКИ A01B13/08, A01B13/16 / Н.К. Теловов, Ю.Г. Ревин, В.С. Казаков; заявл. 30.04.1999; опубл. 10.06.2000.

УДК 631.312.021.6

Н.В. Вольф

Московский государственный агроинженерный университент имени В.П. Горячкина

ИЗЫСКАНИЕ СХЕМ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПЛУГОВ ДЛЯ ГЛАДКОЙ ВСПАШКИ

Пахота — важнейший прием обработки почвы. Основное требование к ней — получение слитной выровненной поверхности без свальных гребней, развальных борозд и огрехов при полной заделке пожнивных остатков. Такая пахота сокращает количество последующих обработок и повышает производительность машинно-тракторных агрегатов при выполнении последующих операций, обеспечивает повышение урожайности и снижение потерь урожайности сельскохозяйственных культур при уборке.

В настоящее время качество обработки почв и затраты на ее обработку не удовлетворяют производителей сельскохозяйственной продукции.

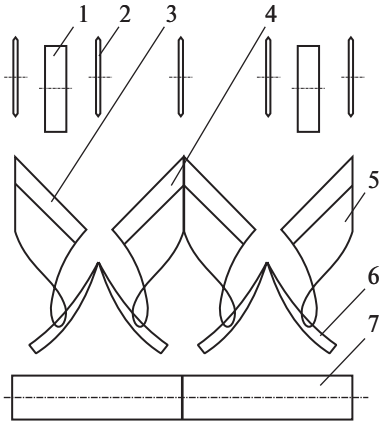


Рис. 1. **Схема фронтального плуга:**
1 — колесо опорное с механизмом регулировки глубины; *2* — дисковый нож; *3* — корпус правооборачивающий; *4* — корпус листерный; *5* — корпус левооборачивающий; *6* — заплужник; *7* — прикатывающе-выравнивающий каток

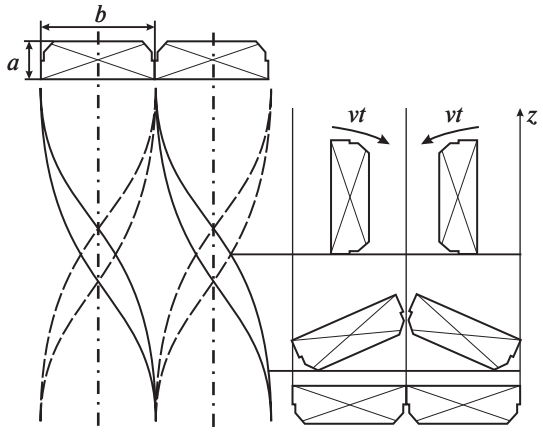


Рис. 2. **Диаграмма совместного оборота пластов, навстречу друг другу с учетом частичного разрушения дисковыми ножами:**
а — глубина обработки; *б* — ширина захвата

Поле, вспаханное отвально-лемешными плугами, как правило, требует дополнительных операций особенно по выравниванию поверхности поля при заделке борозд, которые остаются на поле, что недопустимо при обработке садов, виноградников и мелкоконтурных участков. Все это вынуждает искать более совершенные рабочие органы и технологии.

В МГАУ имени В.П. Горячкина были разработаны и широко испытаны фронтальные плуги для вспашки почв с удельным сопротивлением до 0,09 МПа на глубину до 30 см. Основными сборочными единицами являются: левый *3* и правый *4* корпуса, центральный листерный *5*, сдвоенные заплужники *6*, рама, навеска, опорные колеса *1* и дисковые ножи *2*. Дополнительно плуг оснащен прикатывающе-выравнивающим катком *7* (рис. 1).

Технологический процесс осуществляется следующим образом. Дисковые ножи разрезают пласт почвы перед корпусами на ленты. Корпуса подрезают почвенные пласты снизу, которые попадают на отвалы и поворачиваются навстречу друг другу. В момент, когда происходит поворот на 70...80°, на них с противоположной стороны начинают воздействовать крылья заплужников, обеспечивая оборот пласта на 145...150° и смещение по ходу оборота пласта, находящегося внизу. Далее пласты под действием силы тяжести и приобретенной кинетической энергии дооборачиваются и укладываются в собственные борозды на дно борозды.

На основании агротехнических требований было обосновано оптимальное соотношение ширины и толщины пласта, равное 1,84 при минимально возможном смятии пласта 5 % [1].

Однако обширные исследования показали, что на ряде почв степень смятия превосходит эту величину, что приводит к снижению стабильности и надежности технологического процесса работы фронтального плуга, особенно в тяжелых почвенных условиях.

Эффект улучшения условий оборота пласта, по мнению автора, возможно путем уменьшения поперечного сечения пласта за счет совершенствования рабочих органов плуга.

Дисковые ножи, которые служат для перерезания растительных остатков и корней растений, а также разрезания почвенного пласта перед корпусами, могут быть использованы для этого.

На рис. 2 показана схема совместного оборота пластов с учетом разрушения почвы дисковыми ножами после осыпания разрыхленной ножами почвы.

Проведенный теоретический анализ позволил определить в качестве приоритетной конструкции дисковых ножей следующий вариант конструкции плуга:

1) оснащение дисковых ножей приводом от вала отбора мощности;

2) оснащение дисковых ножей лопатками для отбрасывания измельченной почвы и равномерного распределения ее по поверхности поля до подхода прикатывающе-выравнивающих катков, которые в этом случае позволяют получить более выровненную поверхность поля.

В предлагаемой схеме фронтального плуга отсутствуют полевые доски, скорость вспашки не влияет на равномерность плуга в горизонтальной плоскости.

При работе с плугом колеса трактора идут по поверхности поля, что улучшает тягово-сцепные свойства трактора.

Список литературы

1. Золотарёв С.А. Обоснование технологического процесса и параметров плуга для гладкой вспашки: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Золотарёв С.А. — М., 2005. — 16 с.

УДК 628.16:621.18

Н.К. Мартынова, *канд. техн. наук*
Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

ВЫБОР ЭКОЛОГИЧНОГО И ЭКОНОМИЧНОГО МЕТОДА ОБРАБОТКИ ВОДЫ НА ОБЪЕКТАХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Природная вода представляет собой сложную многокомпонентную динамическую систему, в состав которой входят различные соли, органические вещества, газы, диспергированные примеси и взвешенные вещества (глинистые, песчаные, гипсовые и известковые частицы), гидробионты (планктон, бентос, нейстон), бактерии, вирусы, а также в растворенном состоянии в воде находятся минеральные соли, обогащающие воду ионами, их источниками являются природные залежи известняков, гипсов и доломитов.

Жесткость воды обусловлена наличием в ней солей кальция и магния, которые поступают в воду из омываемых ею грунтов. Соли кальция и магния образуют твердые отложения (накипь, шлам, водный камень) на поверхности котлов и теплообменников, что снижает экономичность их работы. Накипь обладает малой теплопроводностью, и ее наличие на нагревательных элементах обусловливает увеличение энергозатрат.

Увеличение толщины слоя накипи от 0,5 до 5 мм приводит к перерасходу топлива от 10 до 30 %.

Вредное влияние накипи заключается также в повышении температуры стенки водогрейной (дымогарной или жаровой) трубы. В таблице приведена зависимость температуры стенки водогрейной экранной трубы, размещенной в топочном пространстве (температура 1100 °С), от толщины слоя накипи для различных величин теплопроводности накипи.

Увеличение слоя накипи на поверхности нагрева котла со стороны воды существенно повышает температуру стенки водогрейных труб, а повышение температуры, в свою очередь, приводит к снижению как предела прочности металла, так и предела его текучести. При этом образуются свищи и происходит разрыв тр.

Все это приводит к необходимости проведения ремонтных работ, замены трубопроводов и оборудования и требует значительных вложений денежных средств.

На рис. 1 представлена фотография трубы теплообменника с накипными отложениями на внутренней поверхности, проработавшей непродолжительное время без химической и магнитной обработки воды.

Существуют различные методы обработки воды, применяемые в энергетике. Указанные методы обладают различными достоинствами и недостатками [1].

При термическом методе воду нагревают до температуры выше 100 °С, при этом удаляется карбонатная и некарбонатная жесткости (в виде карбоната кальция, гидроксида магния и гипса). Недостатки метода: сложное оборудование, большой расход электроэнергии.

При реагентном методе в воду добавляют известь, устраняющую карбонатную и магниевую жесткость, а также соду, устраняющую некарбонатную жесткость. Недостатки метода: большой расход реагентов, сложное оборудование.

При электродиализе исходная вода фильтруется через полупроницаемую мембрану. Недостатки: большой расход электроэнергии, засорение мембран при обессоливании сильноминерализованных вод.

Один из традиционных способов умягчения воды, применяемых в малой энергетике, — использование ионообменных смол, когда ионы натрия, находящиеся в смоле, замещаются на ионы кальция и магния, растворенные в воде.

При регенерации катионитов получается большое количество сточных вод, содержащих различные соли и избыток регенерационного раствора (хлористого натрия или кислоты). Количество таких вод значительно, оно зависит от производительности химводоочистки и качества исходной воды.

Мероприятия по переработке сточных вод по сравнению с водоочисткой обычно сложные и дорогие: испарение стоков с эвакуацией сухих солей, применение сложной электрохимической пе-

Зависимость температуры стенки водогрейной экранной трубы

Коэффициент теплопроводности, Ккал/(м·ч), град	Температура стенки трубы, °С				
	Толщина слоя накипи, мм				
	1	2	3	4	5
0,1	720	870	970	990	1000
0,2	600	720	820	910	920
0,3	450	540	650	700	730
1,0	370	430	500	580	600
2,0	300	380	400	450	480

Рис. 1. **Накипные отложения на внутренней поверхности трубы теплообменника**

реработки стоков с возвратом воды и получаемых при этом реагентов в цикл. В маловодных районах сброс солей от водоочистки может заметно повлиять на солевой состав источников воды.

Метод озоно-сорбционной очистки воды основан на том, что атомарный кислород уничтожает бактерии, споры, вирусы, разрушает растворенные в воде органические вещества. Озонирование воды в сочетании с фильтрацией позволяет осуществлять окисление и удаление из воды сложных органоминеральных комплексов металлов Fe^{2+}, Mn^{2+}, Ag^{+}, Co^{2+} и др. Приведенные в работах [2, 3] данные показывают эффективность озоно-сорбционной технологии очистки воды, а разработанные установки обеспечивают хорошие органолептические показатели воды, насыщают ее кислородом, очищают от соединений железа, марганца, органических веществ и микробиологических загрязнений. Однако при озонировании минеральный состав, жесткость, щелочность остаются неизменными, что является недостатком этого метода.

По сравнению с вышеприведенными методами магнитная обработка более проста, безопасна и экономична. Обработанная магнитным способом вода не приобретает никаких побочных, вредных для здоровья человека свойств и не меняет солевой состав, сохраняя вкусовые качества питьевой воды, не требуется расход химических реагентов.

Обработка воды в магнитном поле распространена для борьбы с накипеобразованием [4]. Сущность метода состоит в том, что при пересечении водой магнитных силовых линий накипеобразователи выделяются не на поверхности нагрева, а в массе воды. Образующиеся рыхлые осадки (шлам) удаляют при продувке. Метод эффективен при обработке вод кальциево-карбонатного класса, которые составляют около 80 % вод всех водоемов нашей страны и охватывают примерно 85 % ее территории.

Обработка воды магнитным полем получила широкое применение для борьбы с накипеобразованием в конденсаторах паровых турбин, в парогенераторах низкого давления и малой производительности, в тепловых сетях и сетях горячего водоснабжения и различных теплообменных аппаратах, где применение других методов обработки воды экономически нецелесообразно. По сравнению с вышеуказанными методами обработки воды основными преимуществами магнитной обработки являются простота, дешевизна, безопасность и почти полное отсутствие эксплуатационных расходов.

Принцип работы устройства для магнитной обработки заключается в предотвращении образования накипных отложений $CaCO_3$ и $Mg(OH)_2$ на нагревательной поверхности за счет изменения в воде ее электропроводности, коллоидно-химического состояния, под действием магнитных полей, сконфигурированных особым образом. В результате обработки в потоке воды образуются центры кристаллизации (затравки). Это самопроизвольное выделение — один из эффективных способов предотвращения образования твердых отложений кальция и магния. Далее процесс интенсифицируется. На затравочных кристаллах образуются дополнительные места кристаллизации (сцепления) молекул солей кальция и магния. Образованные агрегатные структуры остаются во взвешенном мелкодисперсном состоянии и вымываются потоком воды. Рост кристаллов особенно наглядно проявляется при нагреве воды. При этом вода слегка мутнеет. Это обусловлено тем, что, медленно разрастаясь, кристаллы начинают рассеивать свет. Максимально их величина может достигать лишь тысячной доли миллиметра, что не дает им возможности образовывать твердые отложения в виде осадка и накипи. Обработанная таким образом вода сохраняет максимальный антинакипный эффект в течение 10...24 ч.

Имеются предположения о каталитическом действии магнитной обработки на закисную форму железа Fe^{2+}. Вода, прошедшая магнитную обработку и дополнительно обработанная угольным фильтром, не содержит Fe^{2+} и концентрации на выходе с установки по окисному железу Fe^{3+} снижены более чем в 3 раза. Хотя при прочих равных условиях исходная вода не подвергалась процессу обезжелезивания. Наряду с этим магнитная обработка способствует активации процессов адсорбции различных примесей органического происхождения. Магнитная обработка также влияет на электрокинетический потенциал и агрегативную устойчивость взвешенных частиц, благодаря чему ускоряет их осаждение, т. е. способствует извлечению из воды разного рода взвесей.

Механизм воздействия магнитного поля на воду и ее примеси окончательно не выяснен, имеется ряд гипотез, которые Е.Ф. Тебенихи-

ным [5] классифицированы на три группы: первая, объединяющая большинство гипотез, связывает действие магнитного поля на ионы солей, растворенных в воде. Под влиянием магнитного поля происходят поляризация и деформация ионов, сопровождающиеся уменьшением их гидратации, повышающей вероятность их сближения, и в конечном итоге образование центров кристаллизации; вторая предполагает действие магнитного поля на коллоидные примеси воды; третья группа объединяет представления о возможном влиянии магнитного поля на структуру воды. Это влияние, с одной стороны, может вызвать изменения в агрегации молекул воды, с другой — нарушить ориентацию ядерных спинов водорода в ее молекулах.

В.И. Классен [6] подразделяет имеющиеся на этот счет гипотезы на три основные группы: коллоидные, ионные и водяные.

Предполагается, что магнитное поле, действуя на воду, может разрушать содержащиеся в ней коллоидные частицы: «осколки» образуют центры кристаллизации примесей, ускоряя их удаление. Наличие ионов железа интенсифицирует появление зародышей кристаллизации, что приводит к образованию непрочного осадка, выпадающего в виде шлама.

Вторая гипотеза объясняет действие магнитного поля наличием ионов в воде, считая, что поле оказывает особое влияние на гидратацию ионов, т. е. на возникновение вокруг них гидратных оболочек, состоящих из молекул воды с несколько измененной подвижностью. Чем больше и устойчивее такая оболочка, тем труднее ионам сближаться или оседать в порах адсорбента. Получены экспериментальные данные в пользу «ионных» гипотез: обнаружено, что под влиянием магнитного поля происходит временная деформация гидратных оболочек ионов, изменяется их распределение в воде. Не исключено, что роль ионов при магнитной обработке воды может быть также связана с возникновением электрического тока или с пульсацией давления.

Третья гипотеза предполагает, что магнитное поле оказывает воздействие непосредственно на структуру ассоциатов воды. Это может привести к деформации водородных связей или перераспределению молекул воды во временных ассоциативных образованиях, что также влечет за собой изменение физико-химических характеристик протекающих в ней процессов.

Противонакипный эффект зависит от состава воды, напряженности магнитного поля, скорости движения воды и продолжительности ее пребывания в магнитном поле и от других факторов. На практике применяют магнитные аппараты с постоянными стальными или феррито-бариевыми магнитами и электромагнитами. Аппараты с постоянными магнитами конструктивно проще и не требуют питания от электросети. В аппаратах с электромагнитом на сердечник (керн) наматываются катушки проволоки, создающие магнитное поле.

Магнитный аппарат монтируется к трубопроводам в вертикальном или горизонтальном положении с помощью переходных муфт. Скорость движения воды в зазоре не должна превышать 1 м/с. Процесс работы аппаратов может сопровождаться загрязнением проходного зазора механическими главным образом ферромагнитными примесями. Поэтому аппараты с постоянными магнитами необходимо периодически разбирать и чистить. Оксиды железа из аппаратов с электромагнитными удаляют, отключив их от сети.

При проектировании магнитных аппаратов для обработки воды задаются такие данные: тип аппарата, его производительность, индукция магнитного поля в рабочем зазоре или соответствующая ей напряженность магнитного поля, скорость воды в рабочем зазоре, время прохождения водой активной зоны аппарата, род и его напряжение для электромагнитного аппарата или магнитный сплав и размеры магнита для аппаратов с постоянными магнитами.

Магнитный аппараты должны иметь широкий диапазон магнитной напряженности в рабочем зазоре, легко настраиваться на воду любого качества и быть надежны в эксплуатации.

Электромагнитный аппарат для противонакипной обработки воды, обладающий этими качествами, подробно описан в работе [4].

В последнее время также получили распространение аппараты с внешними намагничивающими катушками. Для омагничивания больших масс воды созданы аппараты с послойной ее обработкой.

Вариант схемы установки для магнитной обработки добавочной питательной воды отопительных паровых котлов приведен на рис. 2.

Помимо предотвращения накипеобразования магнитная обработка может применяться для интенсификации процесса коагуляции и кристаллизации, ускорения растворения реагентов, повышения эффективности использования ионообменных

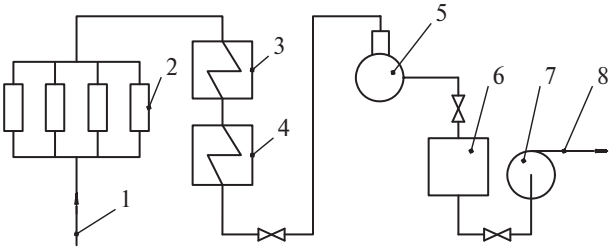


Рис. 2. **Вариант схемы размещения магнитной установки для обработки котловой воды без предварительной очистки:**
1 — исходная вода; 2 — электромагнитные аппараты; 3, 4 — подогреватели I и II ступени; 5 — деаэратор; 6 — промежуточный бак; 7 — подпиточный насос; 8 — подпиточная вода

смол, улучшения бактерицидного действия дезинфектантов.

Закон об охране окружающей среды № 7-ФЗ от 10.01.2002 считает первоочередным вопрос о защите водоемов от загрязненных стоков, при этом важными показателями при оценке схем водоподготовки является количество и состав сбрасываемых вод, возможность их сброса в открытые водоемы без очистки и способы очистки. В связи с этим можно сделать вывод, что применение магнитной обработки воды в малой энергетике является экологически и экономически оправданным.

Список литературы

1. Водоподготовка: справочник / Под ред. С.Е. Беликова. — М.: Аква-Терм, 2007. — 240 с.

2. Очистка воды для технологических и бытовых целей на предприятиях сельскохозяйственногопроизводства / В.П. Коваленко, Е.А. Улюкина, В.Б. Бабко, Е.Н. Пирогов, Ш.А. Давлетьяров // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. Агроинженерия. — 2008. — № 4 (29). — С. 33–36.

3. Гусев С.С., Улюкина Е.А., Михальский Л.Л. Водоподготовка на объектах агропромышленного комплекса // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. Агроинженерия. — 2012. — № 3 (54). — С. 19–22.

4. Лапотышкина Н.П., Сазонов Р.П. Водоподготовка и водно-химический режим тепловых сетей. — М.: Энергоиздат, 1982. — 200 с.

5. Тебенихин Е.Ф., Гусев Б.Т. Обработка воды магнитным полем в теплоэнергетике. — М.: Энергия, 1970. — 144 с.

6. Классен В.И. Вода и магнит. — М.: Наука, 1973. — 120 с.

УДК 621.013; 621.928; 622.74

Ю.Г. Чурин, *канд. техн. наук*
Костромская государственная сельскохозяйственная академия

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ ПО КРУПНОСТИ НА СЕПАРАТОРАХ ВИБРАЦИОННОГО ТИПА

В работе [1] представлена методика определения эффективности процесса сепарации на промышленных сепараторах вибрационного типа (виброгрохотах). Недостатком этой методики является необходимость выполнения большого объема вычислений.

Для устранения этого недостатка рассматривают процесс сепарации как непрерывный процесс проникновения гранул нижнего класса, входящих в сортируемую сыпучую смесь, через разделительную (просеивающую) поверхность рабочего органа сепаратора, что вполне допустимо, если в этом процессе участвует достаточно большое число гранул (что и имеет место на практике использования промышленных сепараторов).

Необходимо обозначить следующее:

Q_0 — объемное количество материала, поступившее на рабочий орган сепаратора в начальный момент времени;

Q — количество материала, прошедшее через рабочий орган за время t;

$Q_Н = \gamma_0 Q_0$ — количество материала нижнего класса, содержащееся в исходном объеме Q_0;

γ_0 — относительное содержание гранул нижнего класса в исходном материале.

В качестве исходного пункта данного исследования примем гипотезу: выход сортируемой массы (количество материала, проходящее за единицу времени через просеивающую поверхность) прямо пропорционален количеству материала нижнего класса над просеивающей поверхностью и обратно пропорционален количеству всего материала над просеивающей поверхностью в данный момент времени.

Это положение описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$\frac{dQ}{dt} = a\frac{Q_Н - Q}{Q_0 - Q}, \qquad (1)$$

где a — коэффициент пропорциональности.

Разделяя переменные и интегрируя, получим

$$Q - (Q_0 - Q_Н)\ln(Q_Н - Q) = at + C. \qquad (2)$$

Постоянную интегрирования найдем из начальных условий: при $t = 0$, $Q = 0$;

$$C = -(Q_0 - Q_Н)\ln Q_Н.$$

Частное решение, удовлетворяющее этим начальным условиям:

$$\gamma_0 \frac{Q}{Q_Н} - (1 - \gamma_0)\ln\left(1 - \frac{Q}{Q_Н}\right) = a\frac{t}{Q_0}.$$

Если $t = T$, где T — время цикла сортировки (среднее время пребывания единицы объема сы-

пучей массы на рабочем органе сепаратора, определяемое как отношение длины рабочего органа к средней скорости движения сыпучей массы вдоль просеивающей поверхности), то $Q/Q_{\text{Н}} = E$ — эффективность сепарации.

Тогда

$$\frac{a}{Q_0}T = \gamma_0 E - (1-\gamma_0)\ln(1-E).$$

Отсюда

$$a = \frac{Q_0}{T}\left[\gamma_0 E - (1-\gamma_0)\ln(1-E)\right]$$

и, следовательно:

$$\frac{t}{T} = \frac{\gamma_0 \dfrac{Q}{Q_{\text{Н}}} + (1-\gamma_0)\ln\left(\dfrac{1}{1-\dfrac{Q}{Q_{\text{Н}}}}\right)}{\gamma_0 E + (1-\gamma_0)\ln\dfrac{1}{1-E}}. \qquad (3)$$

Если величина γ_0 невелика по сравнению с единицей (низкое содержание нижнего класса в исходном продукте), зависимость $Q(t)$ будет иметь вид

$$\frac{t}{T} = \frac{\ln\left(1-\dfrac{Q}{Q_{\text{Н}}}\right)}{ln(1-E)}$$

или

$$\frac{Q}{Q_{\text{Н}}} = 1-(1-E)^{\frac{t}{\text{T}}}. \qquad (4)$$

Эту же зависимость, полученную ранее несколькими исследователями в виде

$$Q = Q_{\text{Н}}\left(1-E^{-\alpha t}\right),$$

можно вывести исходя из предложения, что выход сортируемого материала через просеивающую поверхность пропорционален количеству гранул нижнего класса в исходном материале, т. е. путем решения дифференциального уравнения:

$$\frac{dQ}{dt} = \alpha\left(Q_{\text{Н}} - Q\right).$$

Если в уравнении (3) время t равно периоду t_1 одного (первого) взаимодействия сыпучей массы с рабочим органам сепаратора, то отношения $Q/Q_{\text{Н}}$ определяет эффективность сортировки после первого взаимодействия; в соответствии с формулой (3) [1]:

$$E_1 = \frac{\Sigma^{(1)}}{\gamma_0}. \qquad (5)$$

Здесь

$$\Sigma^{(1)} = \frac{1}{k_1}\sum_{K=1}^{K=k_1}\left(\sum_{i=1}^{i=m} p_{\text{i}}\Delta\gamma_{\text{i}}^{(1)}\right)^{\text{K}},$$

где $k_1 = \dfrac{Q_0}{\overline{D}^{(1)}B\overline{\upsilon}}$ — число условных слоев сортируемой массы перед первым контактом ее с просеивающей поверхностью; Q_0 — объемная производительность сепаратора по питанию; B — ширина просеивающей поверхности сепаратора; $\overline{\upsilon}$ — средняя скорость движения сортируемой массы вдоль поверхности разделения; $\overline{D}^{(1)} = \dfrac{1}{\sum\limits_{i=1}^{i=s}\dfrac{\Delta\gamma_{\text{i}}^{(1)}}{D_{\text{i}}}}$ — средний размер гранул, составляющих исходную сортируемою массу; s — число всех классов гранул; m — число нижних классов; D_{i} — размер гранулы класса i; $\Delta\gamma_{\text{i}}^{(1)}$ — относительное содержание гранул класса i в исходной массе; p_{i} — вероятность прохода единичной гранулы класса i через разделительную поверхность сепаратора.

Очевидно, что $T/t_1 \sim n_{\text{T}}$, где n_{T} — число взаимодействий сыпучей массы за цикл сортировки; с учетом этого уравнение (3) примет вид

$$\gamma_0 E - (1-\gamma_0)\ln(1-E) = \\ = n_T\left[\Sigma^{(1)} - (1-\gamma_0)\ln\left(1-\frac{\Sigma^{(1)}}{\gamma_0}\right)\right]. \qquad (6)$$

Поскольку

$$L = \frac{\overline{\upsilon}\nu n_{\text{T}}}{n_0},$$

где L — длина поверхности разделения, обеспечивающая число взаимодействий сортируемого материала с ней, равное n_{T}; n — коэффициент режима сепарации ([2]):

$$\gamma_0 E - (1-\gamma_0)\ln(1-E) = \\ = \frac{Ln_0}{\nu\overline{\upsilon}}\left[\Sigma^{(1)} - (1-\gamma_0)\ln\left(1-\frac{\Sigma^{(1)}}{\gamma_0}\right)\right]. \qquad (7)$$

Для решения уравнения (6) можно использовать метод итераций. Для этого его удобно представить в виде

$$E = 1 - \exp\frac{\gamma_0 E - An_{\text{T}}}{1-\gamma_0},$$

где $A = \Sigma^{(1)} - (1-\gamma_0)\ln\left(1-\dfrac{\Sigma^{(1)}}{\gamma_0}\right)$.

Для приближенных вычислений можно принять

$$\Sigma^{(1)} \approx \frac{p\gamma_0}{k_1}.$$

Подставляя в уравнение (7) выражение $\Sigma^{(1)}$, получим

$$\gamma_0 E - (1-\gamma_0)\ln(1-E) = \\ = \frac{Ln_0}{\nu\overline{\upsilon}}\left[\frac{p\gamma_0}{k_1} - (1-\gamma_0)\ln\left(1-\frac{p}{k_1}\right)\right]. \qquad (8)$$

Используя уравнение (7) или (8), можно определять параметры процесса сортировки: L — длину просеивающей поверхности при заданной эффективности грохочения E; ширину рабочего органа грохота, которая влияет на число k_1 условных слоев сортируемой массы; угол наклона просеивающей поверхности, от которого зависит средняя скорость $\overline{\upsilon}$ движения материала, число слоев k_1 и вероятность p, а также эффективность грохочения E.

Если количество нижнего класса незначительно, то, положив в формуле (7) $\gamma_0 = 0$, получим

$$\frac{\nu\bar{\upsilon}}{Ln_0} = \frac{\ln(1 - p / k_1)}{\ln(1 - E)}$$

или

$$E = 1 - \left(1 - \frac{p}{k_1}\right)^{\frac{Ln_0}{\nu\bar{\upsilon}}}. \qquad (9)$$

Результаты расчетов эффективности сепарации при использовании уравнения (7) и экспериментов, проведенных на лабораторной сортировочной установке свидетельствуют об удовлетворительной точности предлагаемой методики (таблица).

Расчет эффективности сепарации

Результат	1	2	3	4
Опыт	0,994	0,986	0,970	0,945
Расчет	0,999	0,998	0,936	0,937
Погрешность, %	+0,5	+1,2	–3,5	–0,8

Список литературы

1. Чурин Ю.Г. Применение теории сепарации при проектировании сепараторов вибрационного типа // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. Агроинженерия. — 2010. — № 1(40).

2. Чурин Ю.Г. Кинематика зерен сортируемого материала и выбор оптимального режима работы виброгрохота с круговыми колебаниями: отчет по НИР КСХИ. — Кострома, 1980. — № 26/80.

УДК 631.372.027

Н.А. Мочунова, *канд. техн. наук*
Московский государственный университет природообустройства

ВЫБОР И РАСЧЕТ НАСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРОВ

Применение колесных тракторов в качестве энергетических средств на полях нередко оказывает отрицательный эффект и приводит к снижению урожайности сельскохозяйственных культур, необратимому пагубному воздействию на почву. Современными исследованиями установлено, что только около 12 % площади полей не подвержено воздействию движителей, а суммарная площадь следов движителей более чем в два раза превышает площадь поля. Недобор урожая по этой причине достигает по различным данным от 20 до 40 %. Кроме того, негативные последствия вредного воздействия ходовых систем на почву характеризуются следующими данными:

- после работы колесного трактора на поле 1 га остается 14...15 т пыли;
- ежегодно с полей уносится до 1,5 млрд т почвы;
- удельное сопротивление почвы из-за переуплотнения увеличивается в 1,5...1,8 раза, что приводит к повышению затрат на обработку на 20...30 % и увеличению расхода топлива на 18 %.

Наибольшей степени уплотняющей деформации подвергаются верхние пахотные слои почвы. Равновесное состояние почвы после уплотнения ее тракторами не восстанавливается в течение вегетационного периода. Воздействие движителей тракторов существенно снижает водопроницаемость и влагоемкость почвы, ухудшая ее водный режим. Уменьшается скважность почвы (общая, капиллярная и некапиллярная), следствием чего является ухудшение газообмена между почвой и атмосферой, уменьшение массы корневой системы и снижение биологической активности почвы. Возрастает сопротивление почвообработки и ухудшается структура почвы вследствие увеличения глыбистости поверхности почвы.

Наиболее заметным и ключевым фактором в уплотнении почвы является буксование.

Многочисленными исследованиями установлено влияние буксования колес трактора на эксплуатационно-технологические показатели работы машинно-тракторного агрегата (МТА): снижение производительности и проходимости, повышение удельного расхода топлива, износ шин; негативное влияние на физико-биологические свойства почвы (отклонение от оптимальных характеристик почв, таких как твердость, пористость, структура, плотность).

К основным причинам, вызывающим буксование колес, относятся колебания тяговой нагрузки МТА и силы сопротивления его движению.

По нескольким критериям (тягово-сцепные качества, энергетические затраты на буксование и качественные показатели почвы) определяется максимально допустимая величина буксования.

Автоматическое управление давлением воздуха в шинах тракторов в зависимости от их буксования рассматривается проблема уменьшения повреждений структуры почвы тракторами. Для этого разработана система автоматического управления давлением воздуха $P(t)$ в их шинах, которая сни-

жает его при возникновении пробуксовки трактора, так как в этих случаях указанные повреждения особенно велики [1].

Поскольку структура почв изменяется в зависимости от местоположения обрабатываемых полей, то передаточные функции трактора $W_{об}^{гл}(s)$ и $W_{об}^{вс}(s)$ для каналов передачи воздействий соответственно на главную $V(t)$ и вспомогательную $P(t)$ величины определяются экспериментально перед началом полевых работ по переходным характеристикам управляемого объекта (кривым разгона).

В результате устанавливаются значения параметров этих передаточных функций, заданных следующими выражениями:

$$W_{об}^{гл}(s) = K_1 \frac{e^{-\tau_1 s}}{1 + T_1 s}; \quad (1)$$

$$W_{об}^{вс}(s) = K_2 \frac{e^{-\tau_2 s}}{1 + T_2 s}, \quad (2)$$

где K_1 и K_2 — коэффициенты передачи; T_1 и T_2 — постоянные времени объекта; τ_1 и τ_2 — постоянные времени транспортного запаздывания.

График кривой разгона для канала управления объекта вспомогательной величиной $P(t)$ представлен на рис. 1.

Давление в шинах трактора МТЗ-82 при работе с сельскохозяйственной машиной РН-7 в случае возникновения буксования было снижено с начального значения $P_н = 0{,}11$ до конечного значения $P_к = 0{,}077$.

В таком случае коэффициент передачи объекта для вспомогательного канала определяется следующим выражением:

$$K_2 = 0{,}11 - 0{,}077 = 0{,}033 \text{ МПа}. \quad (3)$$

Значения постоянных времени разгона объекта

$$T_2 = 1{,}68 \text{ с} \quad (4)$$

и его транспортного запаздывания

$$\tau_2 = 0{,}3 \text{ с} \quad (5)$$

устанавливаются в результате представленных на рис. 1 графических построений.

Полагая, что

$$M = M_р = 1{,}05, \quad (6)$$

где $M_р$ — показатель колебательности основного контура;

на основании математических соотношений $\cos\gamma = \frac{1}{M}$ и $K_р = \frac{M^2 \sin\gamma}{A(M^2 - 1)}$ [2], а также выражения (2) и равенств (3)–(6) для коэффициента передачи $П$ регулятора $K_р$ получим следующее значение:

$$K_р = 1{,}64. \quad (7)$$

При возникновении буксования было снижено давление в шинах трактора МТЗ-82Н. В результате скорость трактора $V(t)$ возросла от начального значения $V_н = 0{,}255$ м/с до конечного значения $V_к = 1{,}70$ м/с.

Следовательно, коэффициент передачи объекта для главного канала управления задается равенством (8):

$$K_1 = 1{,}70 - 0{,}255 = 1{,}445 \text{ м/с}. \quad (8)$$

В результате графических построений, показанных на рис. 2, установлено, что

$$T_1 = 16{,}7 \text{ с}, \quad (9)$$

$$\tau_1 = 2{,}7 \text{ с}. \quad (10)$$

Принимая во внимание все вышеперечисленные равенства, определим передаточную функцию эквивалентного объекта $W_{об}^{экв}(s) = \frac{W_{об}^{гл}(s) K_р}{1 + W_{об}^{вс}(s) K_р}$ [2].

Полагая, что

$$M = M_V = 1{,}1, \quad (11)$$

где M_V — показатель колебательности главного контура.

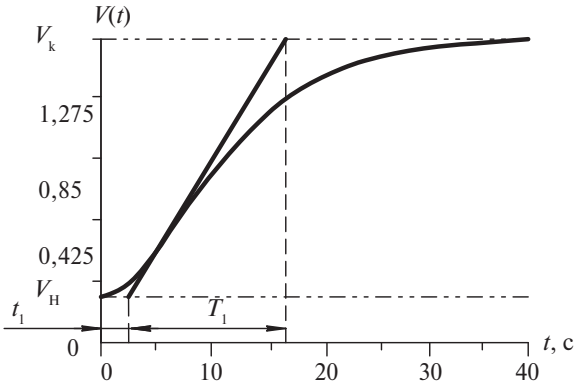


Рис. 1. **Кривая разгона для канала управления вспомогательной величиной $P(t)$**

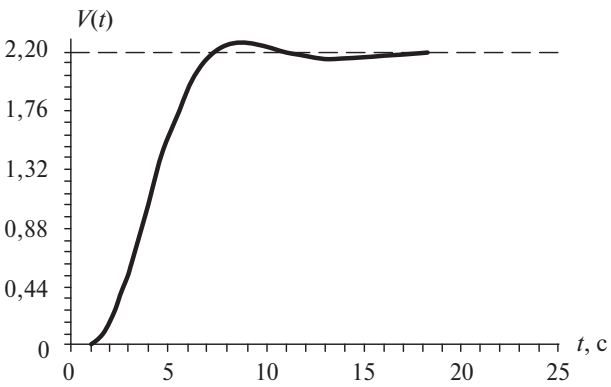


Рис. 2. **Кривая разгона для канала управления основной величиной $V(t)$**

С помощью метода вспомогательной функции [2] определим следующие значения параметров настройки ПИД-регулятора:

$$K_Р = 2{,}46; \quad (12)$$

$$T_Д = 6{,}3 \text{ с}; \quad (13)$$

$$T_И = 15 \text{ с}. \quad (14)$$

Оценим эффективность системы управления скоростью трактора с помощью ПИД-регулятора, параметры настройки которого заданы равенствами (12)–(14). Для этого построим график переходного процесса в замкнутой системе управления скоростью трактора, представленный на рис. 3.

Сопоставив переходные процессы в замкнутой (см. рис. 3) и в разомкнутой системах (см. рис. 2), установим, что длительность переходного процесса уменьшается в два раза, что свидетельствует о высокой эффективности разработанной системы управления.

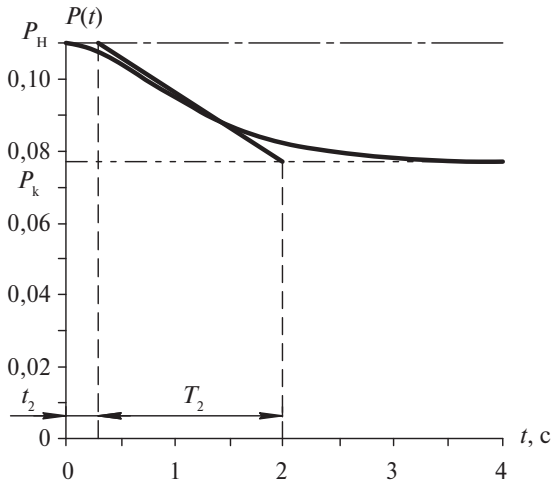


Рис. 3. **Переходный процесс в замкнутой системе управления скоростью трактора**

Список литературы

1. Автоматизированное управление работой МТА с обеспечением адаптации режимов их работы к различным условиям эксплуатации / Н.А. Мочунова, М.А. Карапетян, В.Н. Пряхин, В.М. Максимов // Вестник Международной общественной академии экологической безопасности и природопользования. — 2011. — № 10(17). — С. 36–45.

2. Мочунова Н.А. Метода расчета параметров настройки системы автоматического управления давлением воздуха // Аспирант и соискатель. — 2011. — № 6(66). — С. 137–140.

УДК 631.311.5

Х.А. Абдулмажидов, *канд. техн. наук*
Московский государственный университет природообустройства

ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕНЕНИЯ РАЗМЕРОВ ОСУШИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

В процессе эксплуатации осушительных каналов наблюдается изменение их проектных и конструктивных размеров. Это связано с тем, что эксплуатация этих каналов сопряжена с неизбежным появлением растительности, притоком различных наносов, песка, грунтов, древесных и каменистых включений. Положение усугубляется различным состоянием каналов: деформированным профилем, изменением уровня воды в течение сезона — от паводка до полного высыхания, засоренностью русла камнями и погребенной древесиной. Наконец, затрудняют механизированную очистку многочисленные сооружения на каналах: мосты, затворы, водовыпуски и т. п. Нередко затруднены подходы к каналам. Это может носить постоянный (например, близость лесного массива, строений и т. д.) и временный характер. В последнем случае ограничения, как правило, связаны с посевами, когда запахиваются дороги вдоль каналов и бермы вплоть до самых бровок. Такое состояние дел отрицательно влияет на пропускную способность открытого канала, производительность осушительных систем в целом.

Совершенно очевидно, что при комплектовании парка должны учитываться все основные производственные и природные условия и производиться оценка влияния тех или иных факторов на технологические свойства очистных машин.

Прежде всего, необходимо различать зоны орошения и осушения. Различия зон с точки зрения механизации достаточно велики. Это относится к номенклатуре эксплуатационных операций, конструктивным формам каналов, соотношению их геометрических размеров, удельным объемам очистки, видам растительности, засоряющим русла, и дополнительным ограничениям, связанным с шириной дамб, подходам к каналам, наличием креплений и антифильтрационных покрытий и т. д.

Очевидно, что необходимо располагать двумя комплексами машин — для зоны осушения и зоны орошения. Разумеется, что отдельные машины или

Таблица 1

Классификация осушительных каналов по типоразмерам и их техническая характеристика

Каналы	Типоразмер каналов	Параметр			
		Глубина, м	Ширина по дну, м	Крутизна откосов	Ширина откосов, м
Мелкая регулирующая сеть, придорожные, нагорные каналы	I	До 1,0	0,2...0,4	1:1; 1:1,5	1,8
Проводящая сеть каналов, ловчие каналы, глубокие осушители на торфяниках	II	1,0...2,0	0,4...12	1:1; 1:1,75	4,0
	III	2,0...3,0	1,2...2,0	1:1; 1:2	6,7
Водоприемники и крупные магистральные каналы	IV	Более 3	Более 2	1:1	Более 7

рабочие органы каждой из систем могут оказаться достаточно идентичными, но в целом следует ожидать создания совершенно самостоятельных комплексов.

Наиболее разнотипными с позиции обслуживания гидромелиоративных сооружений в процессе их эксплуатации являются каналы. Типоразмеры наиболее часто встречающихся каналов осушительной сети приведены в табл. 1. Оросительные и коллекторно-дренажные каналы классифицируют отдельно (табл. 2 и 3).

Виды технической эксплуатации гидромелиоративных систем следующие:

- технический надзор;
- технический уход;
- ремонт (текущий, капитальный и аварийный).

Четкого разграничения по типоразмерам каналов на малые и крупные нет. Однако по признакам, различаемым в технологии производства земляных работ при очистке каналов, сделано условное разграничение, в соответствии с которым каналы глубиной и шириной по дну менее 3 м отнесены к малым типоразмерам (I...III). При очистке таких каналов наносы удаляют каким-либо рабочим органом (рабочим оборудованием) базовых машин (экскаваторы, каналоочистители) при их перемещении вдоль канала. Способы рабочих перемещений базовых машин выбираются в зависимости от толщины слоя наносов, ширины и глубины канала, приканальной обстановки и параметров рабочих органов. С однопроходным рабочим перемещением базовой машины канал очищают тогда, когда с одной ее позиции рабочий орган способен воздействовать на слой наносов по всему поперечному сечению. Когда с одной позиции базовой машины ее рабочий орган способен воздействовать только на часть поперечного сечения слоя наносов в канале, его чистят в два и более проходов базовой машины. При наличии воды над наносами глубина ее слоя должна быть в определенных пределах, превышение которой приведет к снижению эффективности производства работ по очистке каналов.

В настоящее время на мелиоративных системах Российской Федерации наблюдается различное состояние: от эффективно работающих осушительных систем с частыми очистками дна и откосов каналов до тех каналов, на которых очистка не проводится совсем.

Практика содержания мелиоративных систем зоны осушения показывает, что эксплуатационные работы следует разграничить на ежегодные, называемые «уходом», и ремонт, необходимость в котором возникает периодически раз в несколько лет. Такой ремонт называют «текущим» [1].

Опыт работы русловых ремонтеров показал, что если операции ухода за каналами проводятся особенно тщательно, как это имело место в ряде областей России, необходимость в капитальном ремонте каналов практически отпадает. Оптимальное решение проблемы по очистке каналов должно в значительной степени снизить расходы на эксплуатацию осушительных систем. Однако на сегодняшний день эту проблему нельзя считать окончательно решенной. Несмотря на обширную номенклатуру каналоочистительных машин, проектированных еще в советское время, в настоящее время на осушительных системах их используется

Таблица 2

Классификация оросительных каналов

Типоразмер	Параметр		
	Ширина по дну, м	Глубина, м	Коэффициент заложения откосов
I	До 0,6	0,5...1,0	1
II	0,6...1,2	0,8...1,5	1,0...1,5
III	1,2...3,0	1,0...2,5	1,5...2,0
IV	3,0...5,0	2,0...4,0	1,5...2,5
V	Более 5,0	Более 4,0	2...4

Таблица 3

Классификация каналов коллекторно-дренажной сети

Каналы	Типоразмер	Параметр		
		Ширина по дну, м	Глубина, м	Коэффициент заложения откосов
Дрена	I	0,6...1,2	2,5...3,5	1,5
Коллектор I	II	1,2...3,0	3,5...5,0	1,5...2,0
Коллектор II	III	Более 3,0	Более 5,0	2,0 и более

мало. И в этой ситуации осушительные системы нуждаются в новых конструкциях и типоразмерах машин, что обусловлено производственными и экономическими соображениями.

Главные особенности существующей проблемы заключаются в принятых основных параметрах осушительных каналов и объемах наносов и заиления. В табл. 4 в качестве примера приведена матрица *f*, элементами которой являются относительные высотные отметки поверхности дна конструктивного осушительного канала и откосов с заложением 1 : 1. В табл. 5 дана матрица модели распределения наносов в канале.

При наличии высотных точек конструктивных сечений каналов *f* и уровней наносов *k* система Mathcad позволяет определять объемы работ по очистке и восстановлению осушителей.

В существующих машинах в качестве главного параметра, определяющего типоразмер машины, выбрана глубина очищаемого канала. Это правомерно для машин, предназначенных для строительства, реконструкции и капитального ремонта. В этих случаях с увеличением глубины канала увеличивается и объем удаляемого грунта, что в свою очередь отражается на производительности, мощности, массе и стоимости машины. Так, используя примеры выполненных конструкций машин, предназначенных для капитального ремонта каналов глубиной 1,5 м, к машинам для 3-метровых каналов сопровождается 3–5-кратным увеличением их массы и стоимости. Однако только при полной реализации энергетических возможностей более мощной и тяжелой машины и ее достаточной загрузке можно добиться приемлемой стоимости ее эксплуатации.

Совершенно иная картина будет иметь место при попытке механизировать операции, входящие в номенклатуру работ по уходу. Например, при очистке дна и прилежащих к нему откосов каналов от наносов и заиления. Здесь глубина не может служить главной характеристикой канала, ибо нет прямой связи между этим параметром и удельными объемами наносов. При одной и той же ширине каналов по дну или небольшой разнице в этих размерах, что характерно для осушительной сети, удельные объемы заиления каналов глубиной в 1 или 3 м могут оказаться примерно равными.

Средние удельные объемы ежегодных работ по удалению наносов чрезвычайно малы и составляют у большинства каналов от 0,02 до 0,10 м^3 на 1 м длины. Это соответствует толщине стружки 5...15 см. Понятно, что такие каналоочистительные машины, как многоковшовые экскаваторы поперечного копания типа ЭМ-152, ЭМ-202 или роторный МР-16, на этих работах окажутся не эффективными и дорогостоящими.

Необходимо также учитывать, что заиление и наносы распределяются по длине каналов крайне неравномерно. Для проводящей сети, например, максимальные объемы сосредоточены обычно в зонах, близких к устьям дрен или открытых осушителей. В то же время в других частях каналов объемы наносов могут быть в несколько раз меньше, а в отдельных случаях совсем незначительны. Такая же картина наблюдается на каналах регулирующей сети, где необходимость в очистке возникает главным образом на нижних отметках. Использование в таких условиях мощных высокопроизводительных очистных машин обязательно приведет к большим потерям, связан-

Таблица 4

Матрица, представляющая поверхность дна канала и откосов с заложением 1 : 1 в виде совокупностей относительных высотных отметок

		0	1	2	3	4	5	6
f	0	2	1	0	0	0	1	2
	1	2	1	0	0	0	1	2
	2	2	1	0	0	0	1	2
	3	2	1	0	0	0	1	2
	4	2	1	0	0	0	1	2
	5	2	1	0	0	0	1	2
	6	2	1	0	0	0	1	2
	7	2	1	0	0	0	1	2
	8	2	1	0	0	0	1	2
	9	2	1	0	0	0	1	2

Таблица 5

Матрица, представляющая модель поверхности наносов на дне и нижних частях откосов осушительного канала в виде высотных отметок

		0	1	2	3	4	5	6
k	0	2	1	0,5	0,5	0,5	1	2
	1	2	1	0,3	0,3	0,3	1	2
	2	2	1	0,4	0,5	0,4	1	2
	3	2	1	0,3	0,3	0,3	1	2
	4	2	1	0,5	0,5	0,5	1	2
	5	2	1	0,6	0,6	0,6	1	2
	6	2	1	0,3	0,3	0,3	1	2
	7	2	1	0,2	0,2	0,2	1	2
	8	2	1	0,4	0,4	0,4	1	2
	9	2	1	0.1	0.2	0,1	1	2

ным не только с недогрузкой машин, но и увеличением транспортных (холостых) пробегов.

Одной из главных операций ухода является скашивание растительности с откосов, дна и берм каналов. Есть мнение, что проведение этих операций может быть осуществлено каналоочистительными машинами землеройного типа, используемых как базовые шасси, путем навески сменных рабочих окашивающих органов. Такие органы, в свое время, предусматривались на каналоочистителях ЭМ-202. Были и попытки совместить косилку с одноковшовым экскаватором. Это выполнено, в частности, на машине КМ-82. Расчеты показывают, что путь этот не самый лучший.

Осушители являются частью номенклатуры мелиоративных каналов и относятся к каналам мелкой сети. Их глубина колеблется от 0,8 до 1,7 м. Немаловажное значение при разработке конструктивных схем каналоочистительных машин имеет такой размер канала, как ширина по дну. Для подавляющего большинства осушительных каналов этот размер находится в пределах 0,2...0,6 м. Первая цифра имеет место на каналах, проложенных с помощью плужных каналокопателей. Такие машины при строительстве осушительных систем в России почти не применялись. Процентное соотношение ширины каналов по дну для различных зон на примере Смоленской области таково: каналы с шириной по дну 0,4 м — 87 %, с шириной по дну 0,6 м — 10 %, свыше 0,6 м — 3 %.

Ширина по дну является очень важным параметром каналов, самым непосредственным образом влияющим на конструкцию машин; у магистральных каналов и коллекторов осушительных систем ширина по дну — достаточно стабильный параметр и укладывается в пределы 0,6...1,0 м.

С точки зрения механизации очистных работ важным является и такой параметр, как коэффициент заложения откосов. Для большинства осушителей заложение откосов находится в пределах 1 : 1 и 1 : 1,5. Каналы с более пологими откосами составляют 1...4 %. Если принять среднюю глубину осушителей, равной 1,5 м, то ширина канала по верху будет находиться в пределах 5...6 м. Это важно, ибо дает возможность применить для очистки осушителей машины, работающие по седловой схеме [2].

Естественно-производственные условия мелиоративных систем настолько разнообразны, особенно это касается геометрических размеров каналов, что решать проблемы очистки можно только при помощи комплекса машин различных типоразмеров. Поэтому, прежде всего, следует обозначить главные зоны и характеристики их естественно-производственных условий.

Выводы

1. В настоящее время не существует одной универсальной машины, способной производить полную очистку, включая дно, откосы и бермы осушительных каналов.

2. Состояние осушительных каналов требует комплексного применения каналоочистительных машин.

3. Основной задачей для дальнейших исследований является подбор из числа существующих и проектирование новых оптимальных комплексов машин, которые будут производить качественную очистку и ремонт каналов.

Список литературы

1. Суриков В.В., Гантман В.Б. Строительные машины для механизации мелиоративных работ. — М.: Агропромиздат, 1991. — 464 с.

2. Абдулмажидов Х.А. Обоснование основных параметров и режимов работы ковшовых каналоочистительных машин для зоны осушения: дис. ... канд. техн. наук. — М., 2000. — 150 с.

УДК 514.18:631.312.021.3/.4

А.А. Васьков, *канд. техн. наук*
К.А. Краснящих
Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

РАЗВЕРТЫВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ОТВАЛА И ЛЕМЕХА НА ПЛОСКОСТЬ

Развертывание поверхности производится только по осям цилиндра (за оси координат должны быть приняты направление образующих цилиндра и перпендикуляр к этому направлению, т. е. оси, по которым строилась кривая возврата).

Так как проецирование горизонтальной проекции велось в других осях (полевая сторона и ось, перпендикулярная ей), то для развертывания поверхности должно быть построено совмещенное положение горизонтальной проекции отвала, т. е. она должна быть отнесена к другим осям.

Замена осей производится на основании правил начертательной геометрии.

Для замены оси *xy* (рис. 1) осью *x′y′*, не изменяя фронтальную проекцию, из точек *a′* и *b′* опускаются перпендикуляры на новую ось и на продолжении их от новой оси откладываются отрезки, равные по величине расстояниям горизонтальных проекций точек до старых осей. Горизонтальная проекция *ab* относительно новых осей будет a_1b_1.

Так как фронтальная плоскость проекции остается во всех построениях неизменной, то, следовательно, для развертывания изменяется только горизонтальная плоскость.

По отнесении горизонтальной проекции к другой оси развертывание производится способом совмещения.

Условием образования развертывающейся поверхности является требование взаимного пересечения последовательных образующих, принимаем, что через каждые две рядом лежащие образующие можно провести плоскость. Далее поверхность, состоящую из плоских элементов, ограниченных образующими, совмещаем около горизонтали или фронтали с горизонтальной или фронтальной плоскостью (рис. 2).

Образующие *1–4* и *2–3* имеют общую точку пересечения *OO′*, следовательно, через них можно провести плоскость. Совмещая плоскость около горизонтали *cdc′d′* или фронтали *aba′b′*, получим совмещенное положение плоского элемента в его натуральной величине.

На рис. 2 такой плоский элемент совмещен и с горизонтальной, и с фронтальной плоскостями.

Получив натуральную величину всех элементов, образующих поверхности, их последовательно складывают и образуют развертку этой поверхности [1].

Показанное построение велось в предположении, что вся поверхность образуется движением касательной к кривой двоякой кривизны, причем все горизонтальные и фронтальные проекции образующих пересекаются на этой кривой в последовательном порядке.

Построение некоторых отвалов производства США, принадлежащих ко второму типу — полувинтовых, указывает на то, что поверхности, приближающиеся к этому типу, также могут быть построены указанным методом при условии разрыва кривой возврата и перенесения ее на другой цилиндр с соблюдением условия развертывания [2].

Точки пересечения горизонтальных проекций прямолинейных образующих таких отвалов, начиная с образующих, обусловливающих положение крыла, т. е. расположенных за характерной, образующей *2–2*, начинают пересекаться с другой стороны проекции.

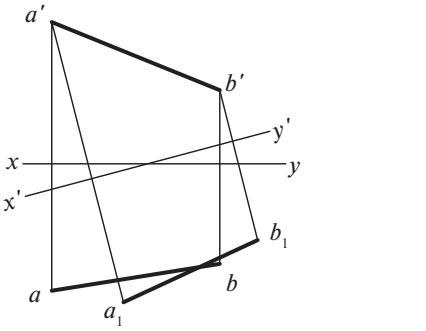


Рис. 1. **Порядок замены оси *xy* осью *x′y′***

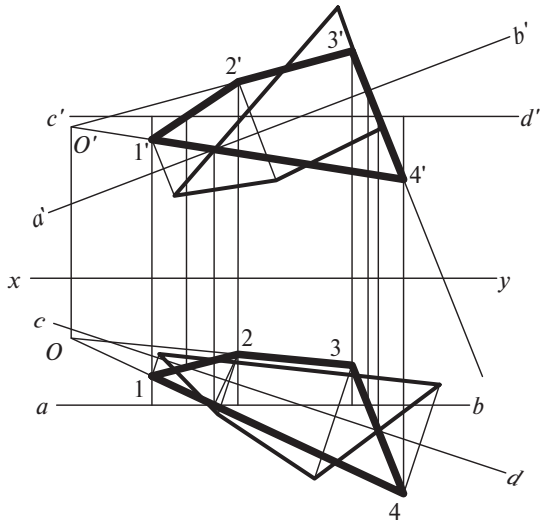


***Рис. 2.* Порядок совмещения поверхности, полученной образующими около линии уровня с соответствующей плоскостью уровня**

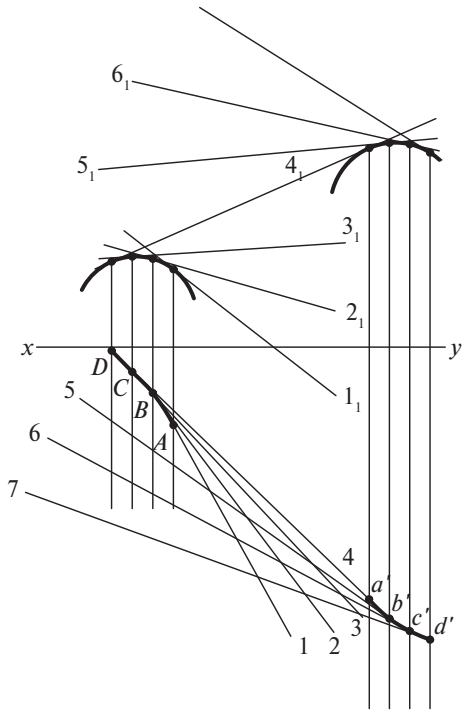


***Рис. 3.* Получение развертываемых поверхностей методом варьирования**

Это характеризует разрыв кривой возврата и переход ее в другое место.

Такой переход допустим при условии, что будет иметься одна общая касательная как к первой кривой возврата, так и ко второй. Принципиальное построение показано на рис. 3.

Здесь взяты цилиндры с направляющей по окружности. Проекции образующих $1–1_1$, $2–2_1$, $3–3_1$, $4–4_1$ образованы движением по кривой *ABCD*. Образующая $4–4_1$ — общая для первого и второго цилиндров проекция $4–4_1$, $5–5_1$, $6–6_1$ и $7–7_1$ образованы движением по кривой $a'b'c'd'$.

Варьируя положение и наклон цилиндров, а также их число, получаем развертывающиеся поверхности для отвалов, близких к полувинтовым (см. рис. 3). Поверхности отвалов, построенные с одной кривой возврата, по своей геометрической характеристике близки к существующим, но при этом имеют перед ними преимущество, заключающееся в том, что являются развертывающимися на плоскость.

Список литературы

1. Василенко В.В. Расчет рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин. — Воронеж: Изд-во Воронежского университета, 1994. — С. 28–32.

2. Кленин Н.И., Сакун В.А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. — М.: Колос, 1980. — С. 60–64.

УДК 626.83

С.Ю. Переверзев

Московский государственный университет природообустройства

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ НЕРАСТВОРЕННОГО В ВОДЕ ВОЗДУХА НА ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ

В транспортируемой по напорным трубопроводам воде всегда имеется некоторое количество нерастворенного в воде воздуха. Практически при давлении в трубопроводах от 0,6 до 1 МПа содержание нерастворенного в воде воздуха может составлять от 0,1 до 2 % от объема воды.

Даже относительно небольшое содержание воздуха оказывает существенное влияние на протекание переходных процессов в напорных системах водоподачи. Прежде всего это выражается в уменьшении скорости распространения волн изменения давления *a*.

Анализ теоретических формул для определения величины скорости распространения ударной волны с учетом наличия в потоке свободной концентрации воздуха показывает, что наиболее обоснованными и полно отражающими физическую сущность процесса являются зависимости, предложенные В.М. Алышевым, А.Г. Джваршейшвилли, В.С. Дикаревским, Н.Г. Зубковой, Н.А. Картвелишвили, Б.Ф. Лямаевым, Д.Н. Смирновым, И.А. Чарным.

Нерастворенный в воде воздух оказывает значительное влияние на процесс образования разрывов сплошности потока в трубопроводах, в отдельных случаях при этом повышение давления при гидравлических ударах бывает большим при пониженных значениях скоростей *a*. Это объясняется тем, что образование разрывов сплошности потока начинается раньше, чем при отсутствии нерастворенного в воде воздуха, объемы разрывов сплошности получаются большими и ликвидация разрывов сплошности происходит при больших разностях скоростей движения воды.

Впервые учитывать изменения скорости *a* при проведении расчетов гидравлического удара было предложено Л.Ф. Мошниным. Им рекомендовано проводить расчеты при двух значениях *a*: при отсутствии в воде нерастворенного воздуха (для стальных и чугунных труб $a_1 \sim 1000$ м/с, для асбестоцементных труб $a_1 \sim 600$ м/с) и при значительном количестве нерастворенного воздуха ($a_2 \sim 0{,}5a_1$).

В настоящее время эти рекомендации в основном и используют при расчетах. Однако совершенно очевидно, что при этом не учитывается изменение величины *a* от давления. Кроме того, не учитывается смягчающее действие воздуха на величину повышения давления.

Изменение скорости распространения волн в зависимости от давления при различных содержаниях нерастворенного воздуха можно учитывать при расчетах, используя метод характеристик, который применяется и в разработанной в МГУП методике. Это значительно усложняет алгоритм расчета в связи с тем, что необходимо постоянно корректировать величину *a* на каждом расчетном участке Δx для каждого расчетного интервала времени Δt.

Это может привести в отдельных случаях к погрешности в результатах расчетов. В статье используется другой способ учета влияния нерастворенного в воде воздуха, предложенный К.П. Вишневским

и Л.Ф. Мошниным. Для расчета приняты следующие допущения:

1. Масса находящегося в воде нерастворенного воздуха принята постоянной. Это вполне допустимо, поскольку растворение воздуха при увеличении давления происходит медленно, выделение воздуха при снижении давления более интенсивно, но увеличение объема воздуха в значительно большей степени происходит вследствие его расширения.

2. Процесс сжатия и расширения воздуха принят изотермическим, что также приемлемо, так как температура воды и воздуха в трубопроводах при переходных процессах практически остается постоянной.

3. Принято, что нерастворенный в воде воздух находится между границами расчетных участков и перемещение его по трубопроводу таким образом не учитывается. Эта расчетная схема, разумеется, условна. Однако достаточно просто возможность ее использования проверяется сопротивлением результатов расчетов при различных длинах расчетных участков, т. е. при различном числе расчетных точек, что практически и было сделано при проведении проверочных расчетов на компьютере по принятому методу. Можно также отметить, что принятие потока в расчетах двухфазным также не совсем соответствует действительности, так как воздух скапливается в основном в повышенных (переломных) точках трубопроводов. Учет перемещения воздуха по трубопроводам практически едва ли осуществим при использовании любого метода.

4. Изменение длин расчетных участков за счет расширения и сжатия воздуха не учитывается. Время Δt распространения волн по расчетным участкам принято постоянным для всего периода расчета переходного процесса. Объемы нерастворенного воздуха всегда значительно меньше объемов, занимаемых в трубопроводах водой, поэтому уменьшение последних и соответственно длин трубопроводов, заполненных водой, можно не учитывать. Фактическое изменение времени распространения волн по трубопроводам учитывается в расчетах за счет сжатия и расширения объемов воздуха, принятых находящимися между границами расчетных участков [1–4].

В качестве исходных данных для проведения расчетов переходных процессов с учетом нерастворенного в воде воздуха задается отношение (1):

$$K_{\text{в}} = \frac{W_{\text{в}}}{W}, \qquad (1)$$

где $W_{\text{в}}$ — объем воздуха в трубопроводе при атмосферном давлении; W — объем воды.

В соответствии со значением $K_{\text{в}}$, объем воздуха в начальный момент времени $t = 0$ (до возникновения переходного режима) в каждой расчетной точке i может быть определен по формуле (2):

$$W_{\text{в,i}} = K_{\text{в}} \frac{\pi d^2}{4} \Delta x \frac{P_{\text{атм}}}{P_{\text{абс i,0}}}, \qquad (2)$$

где d — диаметр трубопровода; $P_{\text{абс I,0}}$ — абсолютное давление в точке переходного режима; $P_{\text{атм}}$ — атмосферное давление.

Таким образом, объемы воздуха в расчетных точках и при стационарном режиме будут различными. При переходных процессах эти объемы также будут соответствовать значениям давления $P_{\text{i,j}}$ в расчетных точках. Минимально возможное давление $P_{\min}$ принимается соответствующим давлению насыщенных паров воды.

Изменение объема воздуха за расчетный период времени Δt в каждой расчетной точке i определяется по средней величине разности расходов воды в сечениях до и после этой точки:

$$W_{i,\text{j}} = W_{\text{i,j–1}} - \frac{\Delta Q_{\text{i,j}} + \Delta Q_{\text{i,j–1}}}{2} \Delta t. \qquad (3)$$

Так как процесс сжатия и расширения нерастворенного в воде воздуха принят изотермическим, может быть также записано следующее выражение, определяющее зависимость между давлением и объемом нерастворенного в воде воздуха:

$$\left(H_{\text{i,j}} - Z_{\text{i}} + \frac{P_{\text{атм}}}{\rho g} \right) W_{\text{i,j}} = \left[\left(H_{\text{i,j–1}} - Z_{\text{i}} + \frac{P_{\text{атм}}}{\rho g} \right) W_{\text{i,j–1}} \right] = \left(Z_{\text{i}} + \frac{P_{\text{атм}}}{\rho g} \right) W_{\text{i,откл}}. \qquad (4)$$

В соответствии с этими выражениями получена формула для определения значения отраженной волны, возникающей в точке i в момент времени j, $\psi_{\text{i,j}}$:

$$\psi_{\text{i,j}} = \frac{1}{2} \left(\frac{a \Delta Q_{\text{i,j–1}}}{2g\omega} - \frac{a W_{\text{i,j–1}}}{g\omega \Delta t} - H_{\text{i,0}} + Z_{\text{i}} - \frac{P_{\text{атм}}}{\rho g} - \varphi_{\text{i(i–1),j}} + \psi_{\text{i(i–1),j}} \right) + \left[\frac{1}{4} \left(\frac{a \Delta Q_{\text{i,j–1}}}{2g\omega} - \frac{a W_{\text{i,j–1}}}{g\omega \Delta t} - H_{\text{i,0}} + Z_{\text{i}} - \frac{P_{\text{атм}}}{\rho g} - \varphi_{\text{i(i–1),j}} + \psi_{\text{i(i–1),j}} \right)^2 + \frac{P_{\text{откл}} a W_{\text{i,откл}}}{\rho g^2 \omega \Delta t} \right]^{\frac{1}{2}}. \qquad (5)$$

Значение φ_{i} может быть получено по аналогичной формуле или определено из соответствия $\varphi_{\text{i(i–1),j}} + \psi_{\text{i+j}} = \varphi_{\text{i,j}} + \psi_{\text{i(i+1),j}}$.

Расчет переходных процессов с учетом нерастворенного в воде воздуха осуществляется в следующей последовательности. В каждый расчетный момент времени j для каждой расчетной точки i проверялась величина $W_{\text{i,j}}$. Если она меньше

$W_{i,атм}\frac{P_{атм}}{P_{min}+P_{атм}}$, т. е. меньше объема воздуха, соответствующего минимальному давлению, то $\psi_{i,j}$ вычисляется по формуле (5), так же вычисляются значения $\varphi_{i,j}$, $H_{i,j}$, $\Delta Q_{i,j}$, $W_{i,j}$. Если при этом значение $H_{i,j} - Z_i$ получается меньше $P_{min}/\rho g$, это будет означать, что в расчетной точке происходит образование кавитационного разрыва сплошности потока. Поэтому $h_{i,j} = H_{i,j} - Z_i$ принимается в этих случаях равным $P_{min}/\rho g$ и в соответствии с этим условием осуществляется расчет изменения объема разрыва сплошности потока. Таким образом, в следующий момент времени $(j + 1)$ величина $W_{i,j+1}$ будет больше $W_{i,атм}\frac{P_{атм}}{P_{min}+P_{атм}}$ и управление будет передаваться к расчету образования кавитационного разрыва сплошности потока. В случае последующего уменьшения величины $W_{i,j}$ ниже $W_{i,атм}\frac{P_{атм}}{P_{min}+P_{атм}}$ вновь осуществляется расчет сжатия нерастворенного воздуха.

Вывод

Разработанные дополнения к программе для расчета переходных процессов при наличии в транспортируемой по напорным трубопроводам значительного количества нерастворенного в воде воздуха дают возможность учитывать:

- изменение величины скорости распространения волн в трубопроводах;
- смягчающее действие нерастворенного воздуха на величину повышения деления.

Список литературы

1. Алышев В.М., Зубкова И.Г. Анализ формул для определения скорости распространения волны мгновенного гидравлического удара в двухфазном газожидкостном потоке // Гидравлика: сб. науч. тр. — М.: Московский гидромелиоративный институт, 1969. — С. 245–268.

2. Чарный И.А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах. — М.: Недра, 1975. — 296 с.

3. Дикаревский В.С. Скорости распространения волн гидравлического удара в водоводах // Водоснабжение и санитарная техника. — 1967. — № 2. — С. 17–19.

4. Картвелишвили Л.Н. Гидравлический удар: пути развития теории и принципы расчета. — М.: ЗАО «МЭЙН», 2001. — 32 с.

УДК 628.147:628.882:557.4

Л.Б. Бекишева

Московский государственный университет природообустройства

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ КАК МЕТОД СИНТЕЗА ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

На практике достаточно часто встречаются задачи выбора параметров сложной системы, доставляющих оптимальное значение целевой функции (показателя эффективности функционирования системы). Такие задачи обычно сводятся к схеме математического программирования (линейного или нелинейного). Целевая функция и функции, описывающие ограничения, накладываемые на параметры системы, могут задаваться в произвольном виде: аналитическими выражениями, таблицами, моделирующими алгоритмами, полученными в ходе имитационного моделирования.

Оптимизация системы подачи и распределения воды (СПРВ) осложняется тем, что на участках могут быть уложены лишь трубы стандартного диаметра, а многие требования к системе плохо формализованы.

Универсальным методом оптимизации СПРВ мог бы быть полный перебор возможных диаметров труб для каждого участка. Однако, например, для сети из 50 участков и 5 сортаментов труб для каждого участка число вариантов перебора составляет $5^{50} \approx 10^{35}$, что совершенно не реально. Если же перебор всех вариантов за разумное время возможен, то найденное решение будет оптимальным.

Кроме того, для оптимизации кольцевых сетей необходимо оптимизировать потокораспределение. Однако, учитывая дополнительные условия, накладываемые на систему, можно получить решение, близкое к оптимальному.

В последнее время появился ряд принципиально новых алгоритмов оптимизации, подсмотренных у самой природы. К ним относятся генетические алгоритмы и нейронные сети.

По эволюционной теории каждый биологический объект развивается и изменяется с целью наилучшего приспособления к окружающей среде, что в определенном смысле является процессом оптимизации живых организмов.

Наиболее приспособленные особи получают возможность воспроизводить потомство с помощью перекрестного скрещивания — кроссвера

с другими особями популяции. Это приводит к появлению новых особей, которые наследуют от родителей некоторые их характеристики. После смены поколений приспособленность особей данного вида заметно возрастает. Кроме того, отдельные особи подвержены мутации.

Отмеченные особенности нашли применение в генетических алгоритмах. Генетические алгоритмы — адаптивные методы решения задач функциональной оптимизации по одному или нескольким критериям. Они основаны на генетических процессах биологических организмов: популяции развиваются в течение нескольких поколений, подчиняясь законам естественного отбора «выживает сильнейший». Они требуют содержательного наполнения для решения конкретной задачи. При этом сохраняется биологическая терминология в упрощенном виде.

Как правило, структура данных генетического алгоритма состоит из строки оптимизируемых переменных. Термин «строка» в контексте с методом заменяют термином «особь» или «хромосома», а ее элементы называют «генами». В системах ПРВ такая строка может состоять из диаметров труб, прокладываемых на каждом участке, и параметров водопитателей. При реконструкции отдельные гены в хромосоме фиксируются. Генетические алгоритмы работают с совокупностью «особей» — популяцией, каждая из которых является потенциальным решением задачи. Особи оцениваются мерой их «приспособленности», в задачах оптимизации таковой является значение целевой функции.

На первом этапе случайным образом генерируется начальная популяция из $n_{ген}$ особей (диаметров участков). Если после подбора водопитателей и проведения гидравлического расчета напоры отдельных водопитателей окажутся больше предельно допустимых значений по соображениям прочности и практической реализуемости, вариант (особь) выбраковывается как не жизнеспособный. Затем особи подвергаются кроссверу. Для оптимизации СПРВ хорошо зарекомендовали себя следующие варианты отбора родительских пар:

- особи скрещиваются случайным образом;
- выбираются наиболее приспособленные особи (с лучшими значениями целевой функции);
- производится кроссвер лучших и худших особей с целью обновления крови.

Отобранные пары подвергаются кроссверу с заданной вероятностью $Pc_{ген}$. Для оптимизации СПРВ наилучшим оказался вариант кроссвера, когда случайным образом выбирается число точек разрыва, генерируются соответствующие сегменты, а затем обмен генами (диаметрами) происходит с заданной вероятностью $Ps_{ген}$.

При оптимизации СПРВ механизм кроссвера имеет отмеченные выше особенности: не всякая особь — потомок является жизнеспособной, а следовательно, не всякая пара родителей способна создать полноценное потомство. В противном случае происходит смена родителей. Процесс повторяется до формирования всех $2np_{ген}$ потомков, где $np_{ген}$ — число пар родителей. До или после кроссвера отдельные особи могут подвергаться мутации. Применительно к СПРВ эта операция сводится к изменению стандартных диаметров в отдельных позициях строки решения. Эта процедура характеризуется вероятностью мутации, случайным выбором числа изменяемых диаметров и вероятностью мутации отдельной позиции. После размножения популяция содержит ($n_{ген} + 2np_{ген}$) особей. Для приведения ее к исходному размеру служит операция отбора. При оптимизации СПРВ хорошо зарекомендовал себя следующий вариант алгоритма. Особи сортируются в порядке убывания их приспособленности (целевой функции). Первые $ne_{ген}$ особей считаются «элитой» и переходят в новую популяцию. Из остальных членов популяции выбирается случайным образом ($n_{ген} - ne_{ген}$) особей, а остальные отбрасываются. После отбора к новой популяции опять применяются операции кроссвера и мутации, затем опять происходит отбор и т. д. Схема генетического алгоритма представлена на рис. 1 [1].

Практические задачи, как правило, многомодальны и многомерны. Для них не существует универсальных методов эффективного поиска оптимальных решений. Комбинируя переборный и градиентный методы, можно получить решение, достаточно быстро приближающееся к оптимальному. Генетический алгоритм представляет собой именно такой комбинированный метод. Процедуры скрещивания и мутации в некотором смысле реализуют метод перебора, а отбор лучших решений — градиентный спуск. На рис. 2 [1] видно, что такое сочетание обеспечивает хорошую эффективность генетического алгоритма для любых типов оптимизационных задач.

Для возможности сравнения целевая функция и ограничения приводятся к безразмерному виду. В большинстве случаев ограничения противоречат друг другу.

Задача может быть решена, если отказаться от точного удовлетворения всем требовани-

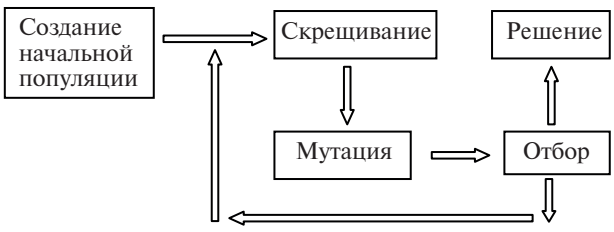


Рис. 1. **Схема генетического алгоритма**

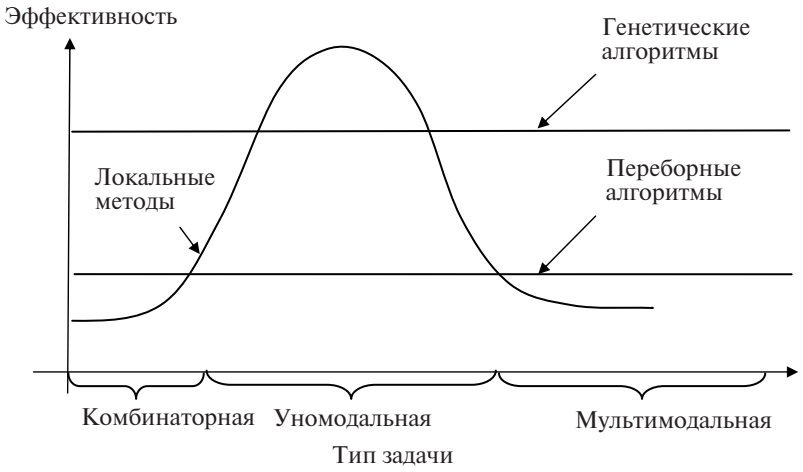


Рис. 2. **Эффективность генетических алгоритмов**

ям и стремиться к их выполнению приближенно [2–6]. Авторами использован метод, когда сначала намечаются наиболее «предпочтительные» для данной задачи значения и степени ухудшения решения при отклонениях от этих величин. В результате для каждого требования получаем функцию, которая в теории нечетких множеств называется функцией принадлежности $\mu(x) \leqslant 1$, которая обычно достигает максимума при требуемых значениях $x = x_{тр}(\mu(x_{тр}) = 1)$, а в других отличных от нуля точках изменяется по одному из заданных законов: линейно — треугольному, экспоненциальному, трапецеидальному, нормального распределения, ступенчатому, в виде сопряженных отрезков парабол (p-функций) и т. д. [7–8]. Такие функции (в общем случае с весовыми коэффициентами) используются для выбора лучшего из двух сравниваемых значений параметра и мало зависят от выбора кривой. Носители функций принадлежности выбираются исходя из достигнутых в первом приближении значений параметров, возможных интервалов их изменения, а также на основе накопленного опыта и системы предпочтений лица, принимающего решение. Так, для экономического показателя z-интегральных дисконтированных затрат — аддитивной функции от числа расчетных случаев (1...24), приближающих график водопотребления, подобная функция может иметь следующий вид:

$$\mu(z) = \begin{cases} 1 - e^{\lambda(z/z_д - 1)}, & z < z_д; \\ 0, & z \geq z_д, \end{cases} \qquad (1)$$

где $z_д$ — достигнутое в начальном приближении значение экономического фактора, параметр $l = 10...12$ контролирует крутизну функции.

Так, задача на минимум превращается в задачу на максимум. Затем решается задача приближения расчетных переменных к требуемым. Оптимизация основывается на первом приближении — традиционном гидравлическом расчете, при котором выбранные характеристики системы попадают в допустимую область. Далее стандартные диаметры участков и параметры водопитателей меняются генетическим алгоритмом так, чтобы удовлетворить необходимым требованиям и условиям [5]. При этом на каждом этапе решается задача синтеза трубопроводной системы, возможно с регулированием характеристик насосов.

Не все из требований нуждаются в построении функций принадлежности. Часть из них удовлетворяется на стадии формирования начального приближения. После проведения гидравлического расчета некоторые решения отбрасываются как недопустимые. Кроме того, на конечной стадии расчета целесообразно рассматривать не единственное оптимальное решение, а множество близких по значениям целевой функции «неразличимых решений», из которых затем выбирается наиболее предпочтительное [6]. Для заданного набора независимых переменных получаем набор уровней принадлежностей каждого контролируемого параметра соответствующего ограничения (m_1, m_2, ..., m_n). Заметим, что в этот набор входят функции принадлежности основной оптимизируемой величины (затрат) и ограничений, которые при такой постановке оптимизации неразличимы. Для сравнения двух решений необходимо свернуть полученный вектор в число, выбрав в качестве показателя оптимальности минимальный компонент вектора (так как остальные приближения лучше):

$$m_{min} = \min m_i, \; i = 1, ..., n. \qquad (2)$$

Тогда оптимальным будет решение, для которого этот минимум достигает максимального значения (принцип Беллмана–Заде). В результате получается решение, достаточно близкое к требуемому.

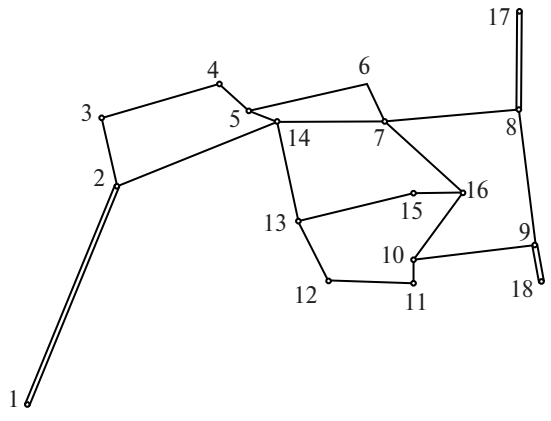


Рис. 3. **План сети**

Рассмотрим работу генетического алгоритма на примере сети, представленной на рис. 3. В узле *1* находится насосная станция, а в узле *17* — башня.

Выводы

1. При синтезе систем подачи и распределения воды хорошие результаты показали методы, сочетающие детерминированные и стохастические подходы, в частности генетический алгоритм.

2. Особенностью метода генетического алгоритма является полный синтез системы на каждом шаге оптимизации, что исключает процесс адаптации параметров системы к стандартным значениям.

3. Метод генетического алгоритма позволяет учесть дополнительные требования, предъявляемые к системе, т. е. является многокритериальным.

Список литературы

1. Дьяконов В.П., Круглов В.В. MATLAB+Simulink Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики. — М.: Солон-Пресс, 2006. — 456 с.

2. Карамбиров С.Н. Математическое моделирование систем подачи и распределения воды в условиях многорежимности и неопределенности: монография. — М.: МГУП, 2004. — 198 с.

3. Карамбиров С.Н., Манукьян Д.А. Генетический алгоритм в сложных задачах оптимизации водохозяйственных систем // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. — 2006. — № 6. — С. 62–65.

4. Карамбиров С.Н. Использование генетического алгоритма в нетрадиционных задачах теории подачи и распределения воды // Водное хозяйство России. — 2006. — № 3. — С. 65–73.

5. Карамбиров С.Н., Курганов А.М., Трикозюк С.А. Решение задач подачи и распределения воды в водопроводных сетях при нечетких исходных данных // Вестник гражданских инженеров. — 2007. — № 1(10). — С. 68–71.

6. Карамбиров С.Н., Трикозюк С.А. Реализация генетического алгоритма для оптимизации водохозяйственных систем // Природообустройство. — 2009. — № 5. — С. 69–74.

7. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. — М.: Мир, 1976. — 166 с.

8. Базы данных. Интеллектуальная обработка информации / В.В. Корнеев, А.Ф. Гареев, С.В. Васютин, В.В. Райх. — М.: Нолидж, 2001. — 496 с.

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

УДК 629.33.004.67

В.Ю. Бойков, *канд. техн наук*
А.Ф. Ахметзянов
Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ТРУБЫ СИСТЕМЫ ВЫПУСКА ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ АВТОМОБИЛЯ

В современных условиях мирового экономического кризиса увеличивается процент автомобилей, работающих за пределами нормативных сроков эксплуатации, поэтому возрастает потребность в простых и доступных методах их ремонта. Анализ применяемых технологий при техническом сервисе автомобильной техники показывает, что использование полимерных композиционных материалов является экономически и технически оправданным, так как позволяет значительно снизить затраты на восстановление работоспособности выведенной из строя техники.

С помощью клеевых составов можно восстановить работоспособность деталей и поверхностей без использования дорогостоящего специального оборудования. Такие технологии находят широкое применение в развитых странах (США, Германия, Швейцария), где имеется целая сеть предприятий, производящих большую номенклатуру клеевых составов, которые могут использоваться как на специализированных ремонтных предприятиях (автосервис, автотранспортные предприятия), так и частными пользователями автотранспортных средств [1, 2].

В современных автомобилях имеется целая сеть трубопроводов с разнообразными режимами работы, при восстановлении герметичности которых применение адгезивов во многих случаях является более целесообразным, чем использование традиционной сварки. Все трубопроводы можно условно разделить на две большие группы: трубопроводы, работающие под давлением (напорные), и безнапорные.

Трубопроводы системы выпуска отработанных газов автомобиля с достаточно большой точностью можно считать безнапорными, однако даже в штатном режиме работы они подвергаются сильному нагреву, вплоть до 500...800 °С в районе выпускного коллектора. Восстановление герметичности данного трубопровода следует производить с помощью высокотемпературного адгезива (например, на основе силиката натрия), иногда с использованием стеклоткани, которая служит для армирования адгезива, придания ему нужной формы и предотвращения его стекания [3, 4]. Данный способ ремонта является не только экономически оправданным, но и часто бывает единственно возможным, так как на трубопроводе, сильно пораженном коррозией, сварку применять нельзя.

Существенным недостатком применения адгезивов является сравнительно небольшая долговечность клеевых соединений. Для того чтобы уве-

личить их срок службы, следует изучить причины и механизмы их разрушения.

Испытания показывают, что в случае с восстановленным при помощи адгезива трубопроводом системы выпуска отработанных газов разрушение клеевой накладки, как правило, происходит по двум причинам: 1) в результате термических деформаций; 2) вследствие вибрационных нагрузок. Последние особенно опасны, если частоты собственных колебаний клеевой накладки попадают в диапазон частот колебаний труб системы выпуска отработанных газов в режиме холостого хода и при движении автомобиля [5].

В большинстве случаев ремонтная клеевая накладка, восстанавливающая герметичность трубы, имеет прямоугольную форму, при этом при небольших линейных размерах накладки по сравнению с диаметром трубы с достаточно большой точностью накладку можно считать плоской.

Следует считать клеевую накладку прямоугольной пластиной (с линейными размерами a и b и толщиной h), которая в пределах упругих деформаций подчиняется закону Гука. Тогда свободные колебания такой пластины описываются уравнением [6]:

$$\rho\frac{\partial^2\zeta}{\partial t^2}+\frac{D}{h}\Delta^2\zeta=0, \qquad (1)$$

$$D=\frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}, \qquad (2)$$

где D — жесткость пластины; ζ — перемещение по нормали к плоскости пластины; E — модуль продольной упругости; μ — коэффициент Пуассона; ρ — плотность клеевого состава; Δ — двумерный оператор Лапласа:

$$\Delta=\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}.$$

Общее решение уравнения (1) будем искать в виде

$$\zeta=\zeta_0(x;y)\cos(\omega t+\varphi_0), \qquad (3)$$

где ω — угловая частота собственных колебаний пластины, рад/с; φ_0 — начальная фаза колебаний, рад; t — время, с.

Подставим формулу (3) в (1):

$$\rho\frac{\partial^2\left(\zeta_0\cos(\omega t+\varphi_0)\right)}{\partial t^2}+\frac{D}{h}\Delta^2\zeta_0\cos(\omega t+\varphi_0)=0.$$

После вычисления второй производной

$$-\rho\omega^2\zeta_0\cos(\omega t+\varphi_0)+\frac{D}{h}\Delta^2\zeta_0\cos(\omega t+\varphi_0)=0.$$

Разделим обе части уравнения на $\frac{D}{h}\cos(\omega t+\varphi_0)$:

$$\Delta^2\zeta_0-\frac{h}{D}\rho\omega^2\zeta_0=0.$$

Используя выражение (2), получим

$$\Delta^2\zeta_0-\frac{12(1-\mu^2)}{Eh^2}\rho\omega^2\zeta_0=0. \qquad (4)$$

С учетом обозначения

$$\omega^2\frac{12\rho(1-\mu^2)}{Eh^2}=k^4 \qquad (5)$$

уравнение (4) приобретает вид

$$\Delta^2\zeta_0-k^4\zeta_0=0. \qquad (6)$$

Направим оси координат вдоль сторон пластины. Следует считать, что края пластины свободно опираются, тогда граничные условия приобретают вид

при $x=0,\ a;\ \zeta=0,\ \frac{\partial^2\zeta}{\partial x^2}=0,$

при $y=0,\ b;\ \zeta=0,\ \frac{\partial^2\zeta}{\partial y^2}=0.$

Решение, удовлетворяющее этим условиям:

$$\zeta_0=A\sin\frac{m\pi x}{a}\sin\frac{n\pi y}{b}, \qquad (7)$$

где A — амплитуда колебаний; m и n — любые целые числа.

Найдем ω из выражения (5):

$$\omega=\sqrt{\frac{Eh^2}{12\rho(1-\mu^2)}}k^2. \qquad (8)$$

Подставим частное решение (7) в уравнение (6):

$$\Delta^2\left(A\sin\frac{m\pi x}{a}\sin\frac{n\pi y}{b}\right)=k^4A\sin\frac{m\pi x}{a}\sin\frac{n\pi y}{b}.$$

После применения оператора Лапласа:

$$\Delta\left(\pi^2\left[\left(\frac{m}{a}\right)^2+\left(\frac{n}{b}\right)^2\right]A\sin\frac{m\pi x}{a}\sin\frac{n\pi y}{b}\right)=$$

$$=k^4A\sin\frac{m\pi x}{a}\sin\frac{n\pi y}{b},$$

$$\pi^4\left[\left(\frac{m}{a}\right)^2+\left(\frac{n}{b}\right)^2\right]^2A\sin\frac{m\pi x}{a}\sin\frac{n\pi y}{b}=$$

$$=k^4A\sin\frac{m\pi x}{a}\sin\frac{n\pi y}{b}.$$

Разделим обе части уравнения на $A\sin\frac{m\pi x}{a}\sin\frac{n\pi y}{b}$ и извлечем корень:

$$\pi^2\left[\left(\frac{m}{a}\right)^2+\left(\frac{n}{b}\right)^2\right]=k^2. \qquad (9)$$

После подстановки (9) в (8)

$$\omega=\sqrt{\frac{Eh^2}{12\rho(1-\mu^2)}}\pi^2\left[\left(\frac{m}{a}\right)^2+\left(\frac{n}{b}\right)^2\right]. \qquad (10)$$

Окончательно частота собственных колебаний клеевой накладки имеет вид

$$\nu=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{Eh^2}{12\rho(1-\mu^2)}}\pi^2\left[\left(\frac{m}{a}\right)^2+\left(\frac{n}{b}\right)^2\right]. \qquad (11)$$

Из выражения (11) видно, что, так как m и n — любые целые числа, то клеевая накладка имеет бесконечное множество частот собственных колебаний (гармоник). Следует заметить, что физический смысл имеют лишь натуральные значения m и n, а наибольшую амплитуду имеют низкочастотные гармоники ($m = 1 - 2$, $n = 1 - 2$).

Чтобы обобщить полученные результаты и отвлечься от конкретных размеров накладки, введем безразмерные параметры: $b/h = d$ и $a/b = c$. При этом толщина клеевого слоя h, как правило, задается технологией склеивания. Выражение (11) будет иметь вид

$$\nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{Eh^4}{12h^2\rho(1-\mu^2)}}\pi^2\left(\left(\frac{m}{a}\right)^2+\left(\frac{n}{b}\right)^2\right) =$$

$$= \sqrt{\frac{E}{12\rho(1-\mu^2)}}\left(\frac{1}{h}\right)\left(\frac{1}{d}\right)^2\pi^2\left[\left(\frac{m}{c}\right)^2+n^2\right],$$

$$\nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{E}{12\rho(1-\mu^2)}}\left(\frac{1}{h}\right)\left(\frac{1}{d}\right)^2\pi^2\left[\left(\frac{m}{c}\right)^2+n^2\right]. \quad (12)$$

С помощью программы Mathcad построим графики зависимости (12) π от $b/h = d$ и $a/b = c$ при $d = 10...50$, $c = 1...5$ ($h = 1$ мм).

Теоретические расчеты и экспериментальные исследования показывают, что частота вынужденных колебаний труб системы выпуска отработанных газов близка к частоте вращения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания. Если учесть, что коленчатый вал двигателя вращается со скоростью от 600 до 8000 об./мин, то частота воздействия возмущающей силы на клеевую накладку лежит в диапазоне от 10 до 133 Гц. Наиболее опасный режим работы адгезива возникает при попадании частот собственных колебаний клеевой накладки в данный диапазон, так как из-за резонансных явлений амплитуда колебаний накладки многократно увеличивается, что в свою очередь ведет к многократному увеличению напряжений, которые выходят за предел выносливости адгезива к повторно-переменным нагрузкам, и как следствие — к разрушению клеевого соединения. Путем подбора геометрических характеристик клеевой накладки следует избегать подобного явления.

Разработанная математическая модель, имитирующая физические процессы при ремонте элементов трубопроводов системы выпуска отработанных газов в автомобилях, позволяет в каждом конкретном случае негерметичности подобрать термостойкий адгезивный материал с оптимальными характеристиками (E, ρ, μ), а также оптимальные геометрические размеры клеевой накладки для того, чтобы избежать резонанса и тем самым значительно продлить срок службы клеевого соединения.

Список литературы

1. Башкирцев В.И. Ремонт автомобилей полимерными материалами. — М.: За рулем, 1999. — 32 с.

2. Мохов А.И., Бойков В.Ю. Ремонт машин с применением анаэробных и формообразующих полимерных материалов // Механизация строительства. — 2006. — № 9. — С. 9–11.

3. Бойков В.Ю., Башкирцев Ю.В. Экспериментальные исследования распределения температуры в системе выпуска отработанных газов в автомобилях: сб. материалов МНТК «Ресурсосбережение XXI век». — Орел: ОрГАУ, 2006. — С. 147–153.

4. Бойков В.Ю., Сливов А.Ф., Башкирцев Ю.В. Классификация термостойких адгезивов для технического сервиса машин и оборудования в АПК // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. Технический сервис в агропромышленном комплексе. — 2004. — № 1(6). — С. 26–31.

5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: в 10 т. Т. 7. Теория упругости: учеб. пособие. — 4-е изд., испр. и доп. — М.: Наука, 1987. — 248 с.

УДК 621.828

А.Г. Пастухов, *доктор техн. наук*
А.В. Ефимцев
Белгородская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Я. Горина

РАДИАЛЬНЫЙ ЗАЗОР В КАРДАННЫХ ШАРНИРАХ ТРАКТОРА «ДЖОН ДИР» В ЭКСПЛУАТАЦИИ

К одной из основных тенденций развития сельскохозяйственной техники относят повышение ее технического уровня и качества, что в первую очередь связано с внедрением инновационных технологий в эксплуатации.

В настоящее время объем, перечень и периодичность работ по техническому обслуживанию (ТО), определяемый нормативными документами, проводится в обязательном порядке для тракторов, находящихся на гарантийном обслуживании, в остальных случаях владельцы самостоятельно принимают решение о выборе стратегии поддержания работоспособности.

Задача повышения эффективности эксплуатации сельскохозяйственных тракторов связана с совершенствованием методики диагностирова-

ния в различных условиях эксплуатации с учетом скорости изнашивания, допускаемого зазора в сопряжениях и режима нагруженности.

Перспективным направлением в системе процессов обслуживания является оперативный контроль технического состояния машин и организация технического сервиса «по состоянию» [1]. В карданных передачах оперативный контроль «по состоянию» оценивается радиальным зазором в шарнире, который является наиболее информативным показателем.

Следовательно, актуальность работы заключается в необходимости исследования долговечности шарниров карданных передач (КП) в эксплуатации, контроле радиального зазора в шарнире «по состоянию» и назначении ремонтно-обслуживающих воздействий.

Работоспособность карданных шарниров (КШ) в эксплуатации можно поддержать с помощью профилактических мероприятий. Для достоверности решения о применении мероприятий обслуживающего характера А.М. Сигаев предлагает предремонтное безразборное диагностирование КШ в зависимости от начального радиального зазора в подшипниковом узле [2].

Аналогичные направления прослеживаются в трудах М.Г. Дегтярева и И.Е. Ульмана, в которых предложен принцип, основанный на измерении радиального зазора КШ на примере КП трактора К-700. В результате обосновано предельное значение радиального зазора в КШ 0,58...0,62 мм по минимуму суммарных затрат на ТО на основе математической модели увеличения окружного зазора с учетом условий работы и факторов наработки [3].

В исследованиях В.Я. Аниловича и В.Л. Литвиненко установлены нарушения взаимного расположения смежных узлов заднего моста трактора в продольно-вертикальной плоскости. В результате применения приборов КПД-1 и КПД-2 установлено среднее значение предельного износа шарнирных соединений КП, равное $\Delta_{пр} = 0{,}1873$ мм, разработана номограмма, позволяющая установить остаточный ресурс КШ и соответственно определить момент замены агрегата во время настоящего или очередного ТО для трактора Т-150К [4].

Чтобы выявить взаимосвязь между динамикой изменения радиального зазора, наработкой и предельным состоянием карданного шарнира трактора «Джон Дир» седьмой серии необходимо решить следующие задачи:

1) провести аналитический обзор существующих работ по контролю работоспособности и технического состояния, основанные на измерении радиального зазора в КШ;

2) установить взаимосвязь между изменением радиального зазора и наработкой и классифицировать тракторы по нагруженности;

3) установить предельное состояние КШ.

В среднем наработка на отказ трансмиссии трактора достигает 15 000 ч работы при условии квалифицированного технического сервиса. Одним из узлов, снижающих долговечность трансмиссии, является КП, соединяющая двигатель и гидромодуль коробки передач. Наработка до замены шарниров КП, регламентированная производителем, составляет 5000, а наработка на отказ в среднем — 8000...9500 ч, что свидетельствует о наличии неиспользованного потенциального ресурса, определяемого как условиями эксплуатации, так и конструктивными особенностями.

С целью повышения долговечности КШ предлагается использовать оперативный контроль радиального зазора и уровня нагруженности в КШ в эксплуатации на основе данных профиля загрузки двигателя. Это позволяет повысить точность и достоверность оценки реального технического состояния КШ, что позволит обоснованно назначить ремонтно-обслуживающие воздействия.

Составлена программа эксплуатационных наблюдений [5], на основе которой исследованы рабочие параметры КШ тракторов, которые характеризуются передачей крутящего момента $T_{кр} = 458...957$ Н·м при заданной частоте вращения $n = 1600...2100$ об./мин с незначительным углом излома $\gamma = 2...3^{\circ}$ в шарнирах. Опрос специалистов и механизаторов в хозяйствах показал, что техника эксплуатируется в различных условиях, об этом свидетельствуют и количественные характеристики, сведенные в массив данных (таблица).

Наблюдения проводились на базе техники ЗАО «Краснояружская зерновая компания», ООО «Молочные фермы», ООО «Русагро-Инвест», ООО «Агрохолдинг «Ивнянский»», ООО «Плодородие», ЗАО «Скороднянское» в сотрудничестве с сервисным центром ООО «Юпитер-9». Наблюдения проведены на тракторах JD серии 7730, 7820, 7830 и 7930, эксплуатирующихся в Прохоровском, Ивнянском, Ракитянском, Белгородском, Новооскольском, Яковлевском, Красненском и Чернянском районах Белгородской области.

Результаты замеров, представленные в таблице, позволили выявить способ учета нагруженности и наработку при достижении предельного состояния.

Методом наименьших квадратов (МНК) построена математическая модель, позволяющая прогнозировать радиальный зазор в зависимости от наработки:

$$\Delta = 5 \cdot 10^{-6} L + 0{,}0795, \qquad (1)$$

где L — наработка КШ, ф.-ч; Δ — радиальный зазор, мм.

Анализ графической интерпретации массива данных измерения радиального зазора (см. таблицу) позволяет отметить, что момент достижения

предельного состояния КШ точка *A* и место пересечения линии предельного состояния с точкой *B* на графике не совпадают примерно на 6000 ф.-ч (рисунок). Это связано с тем, что не учтен показатель нагруженности КШ, поэтому отказ или предотказное состояние может произойти раньше, что, естественно, недопустимо в эксплуатации.

Для установления взаимосвязи между радиальным зазором, нагруженностью и наработкой представлены данные эксплуатационных наблюдений тракторов от начала эксплуатации до физического разрушения:

$$L = 5 \cdot 10^6 \Delta - 397\,500. \quad (2)$$

Изучив нагруженность совместно с видами работ по энергоемкости их выполнения, разделим наблюдаемые тракторы с неизвестной нагруженностью на две группы:

1 — характеризуется уровнем нагруженности до 80 %, что соответствует работам, связанным в основной обработкой почвы, посевом комбинированными широкозахватными агрегатами, например, тракторы № RW7830R029275, RW7830R002630, RW7930R035138, RW7830R006825;

2 — характеризуется уровнем нагруженности до 50 %, что соответствует нетрудоемким работам, связанным с транспортными, разгрузочно-погрузочными, кормозаготовительными работами, например, тракторы № RW7830R011352, RW7830R008475, RW7830A037752.

По данным наблюдений получена формула (1), в которой коэффициент прямой является положительным числом и указывает на возрастание графика.

Наработка до замены, регламентированная заводом-изготовителем, составляет 5000 ф.-ч, а из анализа данных наработка на отказ составляет в среднем 8000...9500 ф.-ч. Это значит, что тракторы эксплуатируются в существенно различных условиях, которые необходимо классифицировать, например, по видам работ. Наработка КШ трактора, с одной стороны, на транспортных работах может достигать 9000 ф.-ч, при этом КШ находится в работоспособном состоянии. С другой стороны, наработка КШ на работах, связанных с основной обработкой почвы, при значении нагруженности 80...90 %, шарнир изнашивается при наработке до 6000 ф.-ч. Поэтому в эксплуатации необходимо обращать внимание не только на величину наработки, но и на значение нагруженности или вид работы трактора.

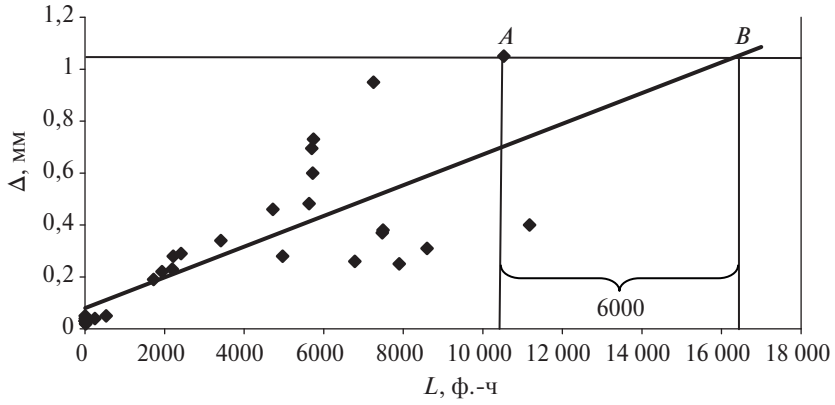
В связи с этим необходимо для более эффективного и целесообразного использования ресурса КШ назначать мероприятия ТО, ориентируясь на значения величины нагруженности и наработки.

В результате анализа представленного материала можно сделать следующие выводы.

1. В соответствии с программой эксплуатационных наблюдений составлен массив данных в количестве 29 ед. тракторов с учетом наработки диапазоне от 6 до 11 100 ф.-ч, радиального зазора от 0,03 до 1,05 мм и нагруженности КШ по профилю нагрузки двигателя в диапазоне от 17 до 80 кВт в реальных условиях эксплуатации.

Параметры работы КШ трактора JD 7830

Номер трактора	Средняя нагруженость		Наработка шарнира, ф.-ч	Суммарный радиальный зазор, мм	Государственный номер
	$\overline{N}_i$, кВт	N^*, кВт			
RW7830R006825	67,05	1	7473,3	0,374	–//–
RW7830R011352	46,356	2	6784,4	0,2572	9100EK
RW7830A037754	60,66	1	1724,2	0,1887	6489EE
RW7830A037752	48,939	2	2414,5	0,2905	6488EE
RW7830R002630	68,887	1	3416	0,3425	7918EE
RW7830R029275	77,263	1	4968	0,279	4239EE
RW7830R008475	44,309	2	7489	0,377	1702EE
RW7830R002638	61,871	1	10527	1,552	7906EE
RW7830R022819	56,738	2	5724,6	0,601	8655EB
RW7930R035138	66,119	1	2192	0,2321	9973EK
RW7830R021961	57,505	2	5700	0,6951	5050EE
RW7830R029102	54,593	2	5633,4	0,482	5790EE
1RW7830RCBR036	–	1	532	0,05	–//–
RW7820R051370	32	2	11174	0,4031	2050EУ
1JZ7930AJCA001147	–	1	250	0,04	–//–
1RW7830RCBR036052	–	2	4723	0,46	7956EE
RW7830R005784	–	1	7252	0,95	–//–
RW7830R021764	–	1	7900	0,25	–//–
RW7830R021736	–	1	8600	0,31	–//–
RW7830A020197	–	2	5744,3	0,73	–//–
1RW7830RPAR029152	–	1	1934	0,22	–//–
RW7730R009266	–	1	2219	0,28	–//–
1JZ7830ALCA001206	–	2	9,2	0,03	–//–
1JZ7830ACCA001209	–	2	4	0,03	–//–
1JZ7830AHCA001207	–	2	3,6	0,04	–//–
1JZ7830AECA001208	–	2	6	0,03	–//–
1JZ7830AJCA001149	–	2	7	0,05	–//–
1JZ7830AJBA001067	–	2	15	0,02	–//–
1JZ7930ACCA001048	–	2	18	0,02	–//–



Результаты измерения зазоров в КШ

2. Анализ массива данных показывает, что необходим учет нагруженности для обоснованного назначения ТО. Предложено разделение по группам: 1 — 50 до 80 % и 2 — до 50 %. Получено уравнение (1), позволяющее прогнозировать ресурс КШ без учета нагруженности. Представлено уравнение (2), позволяющее спрогнозировать наработку по радиальному зазору.

3. Полученные данные позволяют создать основу для проведения и назначения обоснованных ремонтно-обслуживающих воздействий по реальному техническому состоянию карданного шарнира. В ходе эксплуатационных наблюдений установлено, что КШ при условии «контроля по состоянию» может отработать до 9000 ф.-ч. Применяя техническое обслуживание, возможно добиться наработки до 15 000 ф.-ч, что соответствует наработке на отказ трансмиссии в целом.

Список литературы

1. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России до 2020 г / В.И. Фисинин, Ю.Ф. Лачуга, А.А. Жученко, А.Л. Иванов [и др.]. — М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. — С. 13, 24.

2. Сигаев А.М. Повышение эффективности диагностирования и ремонта карданных шарниров тракторов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Харьков, 1985. — 24 с.

3. Дегтярев М.Г., Ульман И.Е. Определение предельного технического состояния карданных передач тракторов К-700 // Техника в сельском хозяйстве. — 1975. — № 11. — С. 73–74.

4. Диагностирование карданных передач / Анилович В.Я., Литвиненко В.Л., Черненький О.И., Б Розенцвайг.А., Огий Г.Е., Олизаренко И.И. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. — 1977. — № 4. — С. 4–46.

5. Ефимцев А.В., Пастухов А.Г.Программа и методика эксплуатационных наблюдений карданных передач тракторов John Deere // Ремонт. Восстановление. Реновация: Всероссийская научно-практическая конференция. — Уфа: Башкирский ГАУ, 2012. — С. 73–76.

УДК 621.8

О.Г. Кокорева, *канд. техн. наук*

Московский государственный агроинженерный университет имени В.И. Горячкина

МЕХАНИЗМ МИКРОСТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПРОЦЕССА УПРОЧНЕНИЯ ВЫСОКОМАРГАНЦОВИСТОЙ СТАЛИ ПРИ СТАТИКО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКЕ

Процесс упрочнения высокомарганцовистой стали имеет сложный характер. Доказательством этого является тот факт, что до сих пор не создана общепринятая теория ее упрочнения. Проанализировав существующие гипотезы [1–5, 8, 9], можно выделить два основных направления, объясняющих механизм упрочнения ВМС при обработке поверхностно-пластической деформацией (ППД):

- упрочнение за счет возникновения высокой плотности дислокаций, большого числа дефектов упаковки и механических двойников, приводящих к изменению тонкой кристаллической структуры (дроблению зерен на блоки и разориентации этих блоков в пределах зерна);
- упрочнение путем образования в плоскостях сдвига вторичных фаз (карбидов), которые являются эффективными барьерами, затрудняющими пластическое движение металла [6–7].

Высокомарганцовистая сталь имеет поликристаллическое строение и состоит из зерен, различающихся по составу и ориентации, и имеющих определенную дислокационную структуру. Упрочнение ВМС находится в прямой связи с линейной дислокационной структурой и плотностью дислокаций, определяющейся отношениями суммарной длины линий дислокаций к объему, в котором они находятся. В результате ППД плотность дислокаций увеличивается от $10^{-7}...10^{-8}$ мм^2 до $10^{-10}...10^{-12}$ мм^2 [10]. Однако возможности упрочнения метал-

ла с помощью увеличения плотности дислокаций ограничены. Это связано с тем, что дислокации создают в кристаллической решетке упругие возмущения. Эти возмущения усиливаются при взаимодействии дислокаций. Возможные формирования их скоплений создают напряжения, которые самостоятельно или в совокупности с внешними нагрузками могут приводить к образованию микротрещин. Особенно опасно скопление, возникающее в результате торможения дислокаций, перемещающихся в полосах скольжения.

Достигнуть упрочнения металла можно увеличив сопротивление перемещению дислокаций в кристаллической решетке посредством статико-импульсного воздействия, при этом образуются повышающие напряжения, необходимые для начала движения дислокаций. Увеличение сопротивления перемещению дислокаций объясняется взаимодействием их с полями этих напряжений. Такое сопротивление резко повышается при наличии скоплений атомов, создающих сильноискаженные участки кристаллической решетки, которые вынуждены огибать дислокации, затрачивая на это дополнительную энергию. Эффективное торможение дислокаций обеспечивается при оптимальном расстоянии между скоплениями атомов. Сопротивление перемещений дислокаций зависит от внешнего усилия при упрочнении металла, а также от характера и распределения скоплений дислокаций в металле.

Упрочнение ППД обусловлено разнообразными по физической природе явлениями, которые определяются условиями нагружения детали и оцениваются следующими параметрами: степенью и глубиной упрочнения, микроструктурой, твердостью, пределом усталости и временным сопротивлением, ударной вязкостью и т. д. Увеличение прочности металла связано с формируемой дислокационной структурой. Характер этой структуры зависит от типа кристаллической решетки, степени упрочнения (пластической деформации) и температуры деформирования.

Известно [2, 9], что характерной особенностью ВМС является ее высокая способность к упрочнению при пластической деформации, что определяет ее прочностные и пластические свойства.

Важными факторами, влияющими на физико-механические свойства деформированной ВМС, являются более мелкое зерно, отсутствие пористости, наличие неметаллических включений, к которым относят соединения оксидов, фосфидов, сульфидов и нитридов. Уровень механических свойств ВМС зависит главным образом от характера расположения неметаллических включений, а затем уже от их общего количества в металле. Установлено, что крупные округлые изолированные неметаллические включения при деформациях 25...30 % не являются очагами зарождения разрушений [10]. Паукообразная форма включения способствует разрушению металла по границам зерен вокруг этих включений уже при деформациях, равных 15... 20 % (рис. 1).

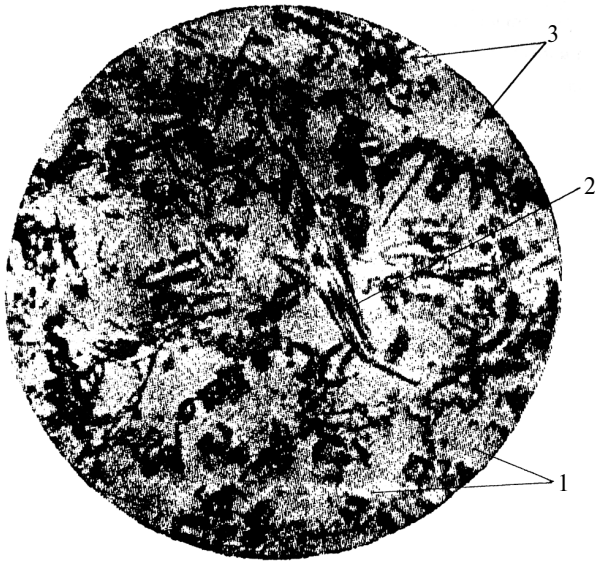


Рис. 1. **Составляющие микроструктуры высокомарганцовистой стали:**
1 — зерно аустенита; 2 — карбидная составляющая; 3 — неметаллические включения

Энергия при статико-импульсном взаимодействии поглощается металлом, часть которой проявляется в форме деформационного упрочнения. Последнее представляет собой сопротивление металла его дальнейшему деформированию. Количественно его определяем измерением твердости при внедрении.

Наиболее интенсивное упрочнение достигается на ранних стадиях деформации. Как и можно было ожидать, максимальное возрастание твердости достигается там, где деформация была наибольшей. Распределение твердости от поверхности по глубине для упрочненных СИО образцов из ВМС характеризуется достаточно равномерным убыванием. Это связано с течением зерен, которое сочетается с двойникованием, весьма интенсивным у поверхности и затухающим на некотором расстоянии от поверхности.

Металлографические исследования образцов, упрочненных статико-импульсной обработкой, показали наличие площадок постоянной твердости, которые связаны определенным образом с распределением ударных двойников (рис. 2). Обнаружена зависимость между максимальным числом направлений двойников в отдельном зерне и положением площадки твердости. Число направлений уменьшается при переходе на каждую следующую площадку.Так, металлографические исследования показали, что наибольшее число направлений двойников в отдельном зерне в области первой площадки оказалось равным четырем. Во второй площадке

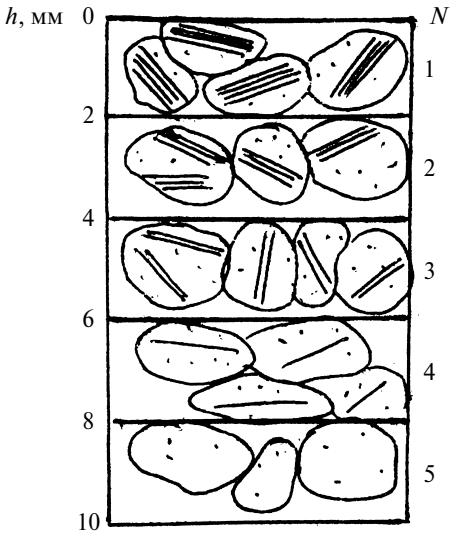


Рис. 2. **Зависимость между числом двойников *Д* и положением площадок твердости *N* для стали 110Г13Л по глубине упрочненного слоя *h***

наибольшее число направлений двойников равно трем; для третьей и четвертой число направлений двойников соответственно два и одно. В области пятой площадки, где твердость по существу та же, что и в исходном материале, двойников не обнаружено совсем (см. рис. 2). Для характеристики зависимости числа двойников от твердости при распределении по глубине упрочненного образца из стали 110Г13Л рассмотрим следующую зависимость:

$$Д = (2 + K_д)\frac{\Delta h}{N}, \qquad (1)$$

где $Д$ — число двойников; $K_д$ — коэффициент характеризующий количественную однородность двойников (определяется по таблице); Δh — расстояние по глубине образца; N — номер площадки твердости.

Определяем число двойников для некоторых площадок твердости (см. таблицу):

№ площадки твердости, *N*	1	2	3	4	5	6	7	8
Коэффициент однородности двойников, $K_д$	0	1	1	0	1	1	0	1

Таким образом, установлено, что в основе механизма процесса упрочнения СИО лежит теория дислокаций. При этом прочность поверхностного слоя деталей повышается при создании препятствий перемещению дислокаций, образуя их высокую плотность. Это приводит к дроблению зерен кристаллической структуры на блоки и разориентации этих блоков в пределах зерна.

Список литературы

1. Балтер М.А. Упрочнение деталей машин. — М.: Машиностроение, 1978. — 172 с.

2. Бернштейн М.Л. Структура деформационных материалов. — М.: Машиностроение, 1983. — 316 с.

3. Давыдов Н.Г., Ситнов В.В. Свойства, производство и применение высокомарганцовистой стали. — М.: Машиностроение, 1996. — 232 с.

4. Зубнов Е.Е., Тесленко Т.С.; Соболенко Т.М. Исследование влияния исходной прочности стали Г13Л на ее свойства после упрочнения взрывом // Вестник ВНИИЖТ. — 1982. — № 2. — С. 30–31.

5. Кокорева О.Г. Исследование параметров качества поверхностного слоя при обработке статико-импульсным методом // СТИН. — 2012. — № 3. — С. 29–30.

6. Кокорева О.Г. Статико-импульсная обработка как эффективный способ упрочнения деталей машин // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. — 2012. — № 2(53). — С. 49–52.

7. Олейник Н.В. Поверхностное динамическое упрочнение деталей машин. — М.: Машиностроение, 1984. — 228 с.

8. Орленко Л.П. Поведение материалов при интенсивных динамических нагрузках. — М.: Машиностроение, 1964. — 160 с.

9. Райнхарт Д.Ж., Пирсон Д.Ж. Поведение металлов при импульсных нагрузках. — М.: Иностранная литература, 1958. — 296 с.

10. Технология статико-импульсного упрочнения / А.Г. Лазуткин, А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев, О.Г. Кокорева // Новые материалы и технологии: тез. докл. Рос. науч.-техн. конф. — М.: МГАТУ, 1997. — С. 17.

УДК 502/504 :631.347

А.С. Апатенко, *канд. техн. наук*
Н.И. Владимирова
Московский государственный университет природообустройства

АНАЛИЗ СИСТЕМ РЕМОНТНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО ОБУСЛУЖИВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Потери времени на ремонт и техническое обслуживание составляют по наблюдениям ряда исследователей до 1/3 годового фонда рабочего времени [1].

Одним из следствий современного этапа развития прогресса явилось резкое увеличение машинных парков. Оно сопровождается обострением проблемы восстановления и поддержания работоспособности техники, ростом материальных, людских и финансовых затрат на обеспечение исправности машин и оборудования, однако внимание ученых ремонтная проблема привлекла только в XX веке.

К концу XIX века существовала заявочная система — техника ремонтировалась по потребности, после заявок (рис. 1).

В этой системе ремонтные воздействия назначаются после появления дефекта. Ее применение связано с низким уровнем ремонтного обслуживания, а также с отсутствием или недостаточной проработкой нормативных документов по конкретным группам оборудования. Достоинствами данной системы являются простота ее применения, незначительное организационное обеспечение. К крупным недостаткам системы можно отнести постоянные и значительные простои техники в ожидании ремонта, отсутствие ритмичной загрузки ремонтных мощностей, повышенные материальные потери при отказах машин и технологических комплексов, в которых эти машины задействованы.

С начала XX века становится ясно, что заявочная система ремонта должна иметь разумную альтернативу. Такой становится система планово-предупредительного ремонта машин (система ППР) (рис. 2).

В нашей стране ее внедрение совпало с началом индустриализации народного хозяйства. Структурно эта система за все время своего существования не претерпела принципиальных изменений. Так, например, в начале 30-х годов считалось, что планово-предупредительный ремонт разделяется на два вида: 1) проведение через определенные сроки ремонта всей машины; 2) проведение планово-предупредительной замены отдельных агрегатов и узлов также в определенные сроки с тем, чтобы снятые с машины агрегаты подверглись ремонту в агрегатно-ремонтных цехах [2].

В настоящее время система планово-предупредительного ремонта транспортно-технологических машин формально остается единственной официально рекомендуемой к применению. Внедренная более 70 лет назад она сохранила свои основные положения без существенных изменений. Нормативные документы этой системы, как известно, предусматривают проведение ремонтно-профилактических воздействий через определенную наработку. Заранее определены продолжительность и объемы работ, в том числе и по видам ремонтных работ.

Правда, в рекомендациях [3] по организации технического обслуживания и ремонта транспортно-технологических машин периодичность ремонтов уже устанавливается как рекомендуемая. Положительными моментами этой системы является простота применения, возможность заранее планировать время постановки машин на ремонт и на ТО, определять потребные ремонтные мощности. Вместе с тем у системы имеются и серьезные недостатки, к ним относятся безадресность системы, обезличенность подхода при решении вопросов ремонтной политики организаций, не учитывается возможность применения технической диагностики. Результатом применения системы являются недоиспользование (до 30 %) технического ресурса как отдельных узлов, так и самой машины в целом.

В других отраслях народного хозяйства приняты системы, принципиально мало отличающиеся от ППР транспортно-технологических машин, но имеющие в ряде случаев и существенные отличия в структурах ремонтных циклов.

Например, на автотранспорте действует своя система ТО и Р. Основными принципами ее также составляют планово-нормативный характер, обязательность соблюдения нормативов. В нормативах

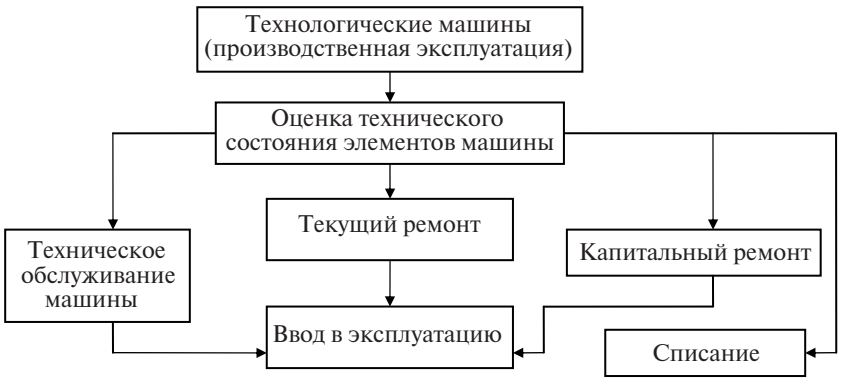


Рис. 1. **Заявочная система**

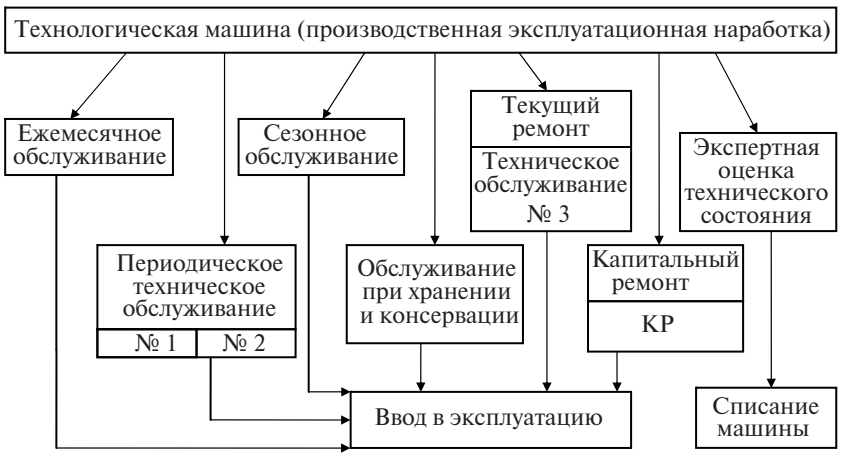


Рис. 2. **Система планово-предупредительного ремонта**

отражены периодичности ТО и Р (через 1 км пробега), перечни операций, трудоемкости.

На железнодорожном транспорте подвижной состав кроме регулярных технических осмотров проходит подъемочный, деповский, заводской ремонт.

В троллейбусных депо система ППР имеет следующие разновидности ремонтно-профилактических воздействий: ежедневное обслуживание, контрольно-профилактический осмотр (1 раз в 7 сут), ревизионный ремонт, средний ремонт, капитальный ремонт.

В авиации, где возможные неисправности могут повлечь значительные материальные потери и связаны с риском для жизни людей, принята стандартная регламентная система, являющаяся по сути дела разновидностью предыдущей, при которой выполнение ремонтно-профилактических работ, в том числе и замен оборудования еще не полностью выработавшего свой технический ресурс, сопровождается точным и полным выполнением заданных работ в конкретно назначенные нормативные сроки. В свою очередь, эти нормативы рассчитываются с учетом минимально возможного появления отказов жизненно важных систем машины. Для машин, обслуживаемых по данной системе, характерно определенное недоиспользование ресурса отдельных узлов и элементов (страховой запас). Результаты диагностирования элементов системы не дают полного права на значительное увеличение срока службы проверяемых элементов, а сами проверки являются по сути подстраховывающим нормативы фактором.

Другое дело, это применение системы для обеспечения работоспособности транспортно-технологических машин, когда предельная выработка может привести к плановым отказам, увеличивается время ремонта. Здесь эта система нецелесообразна, так как она не позволяет наиболее полно и эффективно использовать ресурс деталей машин и не позволяет прогнозировать отказы оборудования, которые зависят от множества факторов.

В зарубежных экономически развитых странах систем ремонта и технического обслуживания несколько. Основная цель их применения — получение максимума прибыли от эксплуатации приобретенных машин и оборудования. Приоритетным направлением является совершенствование системы технического обслуживания и ремонта машин и оборудования.

Наибольшее применение нашли системы корректирующего (отладочного) и паллиативного ремонта. Паллиативный ремонт это, практически, ремонт по потребности. Здесь важно либо иметь возможность в кратчайший срок устранить неисправность, либо срочно заменять отказавшее оборудование исправным. Для правильного установления объемов ремонтных работ при отказе машин используются средства технической диагностики.

В качестве разновидности этой системы можно выделить систему, которую можно назвать как «событийную». Эта система предназначена для редко используемых и, как правило, ремонта непригодных технических систем. Она предусматривает проверку, проведение простейших операций по техническому обслуживанию непосредственно перед очередным использованием или через складирование на длительное хранение. При этой системе мероприятия обычно проводятся силами эксплуатационников.

Одновременно с внедрением средств технической диагностики стали разрабатываться системы автоматического слежения за техническим состоянием машин и их отдельных элементов [4].

В последние годы в связи с развитием средств технической диагностики, современных методов управления и быстродействующей вычислительной техники стал возможен индивидуальный подход при решении вопросов ремонтной политики компаний.

Но в нашей стране до сих пор осталась ППР во многих организациях. Но эта система, по мнению авторов, сегодня не всегда целесообразна, так как она не позволяет наиболее полно и эффективно использовать ресурс деталей машин и не позволяет прогнозировать отказы деталей машин и оборудования, которые зависят от множества факторов.

При эксплуатации машин и оборудования всегда есть вероятность появления неисправностей.

Это связано, во-первых, с появлением нештатной ситуации, при которой появляются нагрузки на какой-либо элемент машины, фактически превышающее его прочностные характеристики. Во-вторых, естественный износ деталей оборудования достигает таких значений, при которых исчезает гарантия их безотказной работы. В-третьих, нарушения правил эксплуатации техники вследствие пониженного квалификационного уровня обслуживающего персонала или каких-либо других причин вызывают ускоренный износ отдельных узлов и машины в целом и появление отказов оборудования. В-четвертых, в конструкции машины могут быть заложены определенные просчеты, приводящие к появлению отказов. В-пятых, возможны технологические нарушения сборки новой машины, приводящие к появлению дефектов. В-шестых, некачественные ТО и ремонт машин, их отдельных узлов и деталей напрямую связан с безотказностью и долговечностью машин и оборудования.

До начала индустриализации народного хозяйства существовала практически одна система

ремонта и технического обслуживания машин, при которой ремонт проводился по потребности, определяемой субъективно или при появлении отказов машин. В последние десятилетия в нашей стране с монопольным внедрением системы ППР машин и оборудования как-то не принято было разрабатывать систему прогнозирования и учета появления аварийных отказов и только в последние 10...15 лет стало очевидным, что при любой системе обслуживания появление неисправностей машин неизбежно и возможно следует выявить какие-либо закономерности, сопровождающие процесс отказов деталей, узлов, машин технологических комплексов.

Подробный анализ отказов техники с группировкой машин по многочисленным показателям (тип ходового устройства, природно-климатический фактор, год службы и т. д.) позволяет прогнозировать с большой вероятностью появления отказов оборудования в различные периоды эксплуатации. Следует отметить, что большая часть видов ремонта является по сути неплановой (внезапной) [5].

Поэтому, как считают авторы, необходимо переходить на применение системы ремонта, в которой основополагающим инструментом будет являться диагностирование. Большой вклад в продвижении такой системы ремонта техники внес ГОСНИТИ Россельхозакадемии [6–8]. Авторы статьи предлагают следующую систему проведения ремонтно-профилактического обслуживания машин (рис. 3).

Все решения о воздействиях на машину будут приниматься на основе результатов диагностики.

С появлением диагностирования есть возможность ремонта транспортно-технологических машин по потребности, т. е. уменьшается вероятность появления внеплановых отказов и при этом повышается полнота выработки ресурса.

Но диагностирование применяют не ради выявления неисправности узлов и агрегатов, а ради продолжения жизнедеятельности механизмов, достижения предельной наработки.

Но так как диагностирование парка машин и оборудования будет очень затратно по времени, то целесообразнее будет сгруппировать все оборудование на шесть основных категорий:

а) оборудование, практически не требующее специального технического ухода и ремонтно-непригодное. Машины и механизмы этой группы, отработав свой технический ресурс до отказа без проведения существенных профилактических работ, списываются, поскольку целесообразность их дальнейшего использования исчерпана полностью;

б) машины и оборудование, требующие технического ухода и ремонтных операций в незначительных объемах (подготовка к эксплуатации осуществляется в сроки, длительностью которых можно пренебречь);

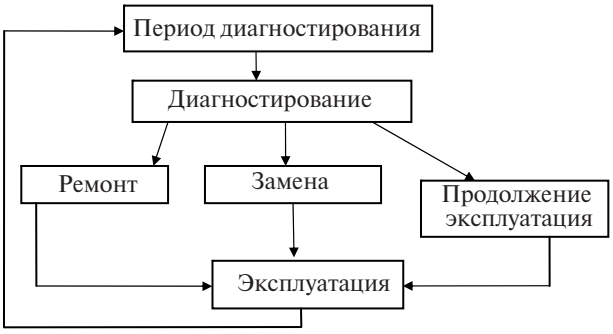


Рис. 3. **Предлагаемая система ремонтно-профилактического обслуживания**

в) оборудование, редко используемое или сезонного использования, или редко отказывающее, а также оборудование, последствия отказов которого экономически невелики;

г) машины с устойчивыми параметрами потока отказов;

д) машины и оборудование, на параметры надежности и технико-экономические показатели использования которых оказывают существенное влияние на факторы эксплуатации. Группа таких машин наиболее многочисленна. Машины этой группы достаточно дорогостоящи и сложны. Недоиспользование технического ресурса оборудования этой группы влечет к ощутимым экономическим потерям, а появление внезапных отказов приводит к остановке, сопровождающейся также существенными расходами. Следует отметить, что машины этой группы работают, как правило, в технологических комплексах с другими машинами и остановка одной из них зачастую приводит к простою всего комплекса;

е) машины и оборудование, отказ систем которых ведет к значительным экономическим потерям или даже к человеческим жертвам.

Выводы

1. Существующие системы обеспечения работоспособности машин не позволяют в ряде случаев полноценно и эффективно применять новые средства и методы технической диагностики.

2. С широким внедрением технической диагностики машин назрело целесообразность пересмотра системы проведения технического обслуживания и ремонта машин.

3. Возможность рационального выбора системы ремонтно-профилактического обслуживания в зависимости от технических и эксплуатационных факторов позволяет уменьшить затраты на эксплуатацию парка машин и тем самым повысить эффективность его использования.

Список литературы

1. Бардышев О.А., Коценко Н.В. Интенсификация использования парка строительных машин. — Л.: ЛДНТП, 1996. — 28 с.

2. Дрезман Р.И. Организация планово-предупредительного ремонта автомашин // Борьба за технику. — 1983. — № 21–22. — С. 40–42.

3. Рекомендации по организации технического обслуживания и ремонта строительных машин. — М.: Стройиздат, 1988. — 92 с.

4. Некоторые проблемы разработки автоматизированной системы управления парком строительных машин / Г.И. Рацкевич, Л.Ф. Манаков, Б.Г. Ким, Ю.И. Севастьянов // Применение ЭВМ и оптимизация в науке и производстве: тезисы докладов конференции. — Новосибирск, 2005. — С. 27–30.

5. Апатенко А.С. Повышение эффективности работы культуртехнических агрегатов с учетом надежности базовых и агрегатируемых машин: дис. ... канд. техн. наук. — М.: МГУП, 2005. — 168 с.

6. Техническое обслуживание, ремонт и обновление сельскохозяйственной техники в современных условиях / В.И. Черноиванов, С.А. Горячев, Л.М. Пильщиков, И.Г. Голубев. — М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. — 146 с.

7. Формирование инфраструктуры инженерно-технологических услуг сельским товаропроизводителям / В.И. Черноиванов, С.А. Горячев, Е.В. Щеглов, Н.В. Краснощеков, В.П. Лялякин, И.Г. Голубев. — М.:ФГНУ «Росинформагротех», 2010. — 192 с.

8. Оптимизация инфраструктуры ремонтно-обслуживающей базы АПК / В.И. Черноиванов, С.А. Горячев, Л.М. Пильщиков, М.В. Назаров, И.Г. Голубев. — М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. — 52 с.

УДК 631.173.004.12

А.Н. Самордин

Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССНОЙ МОДЕЛИ УНИВЕРСАЛЬНОГО ДИЛЕРСКОГО ЦЕНТРА АПК

Одной из основ эффективной эксплуатации машинно-тракторного парка, как основного звена агропромышленного комплекса, является система технического сервиса. Техника используется при производстве всех видов животноводческой и растениеводческой продукции, что обусловлено используемыми технологиями выращивания животных и возделывания культур. Уровень использования техники и значений затрат на ее обслуживание оказывают существенное влияние и на себестоимость получаемой продукции [1].

По мере развития специализированных сервисных предприятий по техническому обслуживанию и ремонту машин, дилерских центров в формирующихся рыночных условиях возникает необходимость ориентации производимых услуг на качество.

Стратегическим направлением повышения качества оказываемых услуг по техническому обслуживанию и ремонту сельскохозяйственной техники является внедрение в дилерских центрах системы менеджмента качества на основе стандартов ИСО серии 9000.

Системы менеджмента качества рассматриваются как часть общей системы руководства организацией, целью которой является эффективность и результативность работы организации.

Появление международных стандартов ИСО серии 9000 инициировало повышение интереса к процессному подходу. Предприятия ТС АПК должны разрабатывать и внедрять системы менеджмента качества, основанные на принципах международных стандартов ИСО серии 9000. Создание и сертификация СМК на основе международных стандартов ИСО серии 9000 постепенно становится общепризнанной нормой и в Российской Федерации.

В современной России внимание к управлению качеством на предприятиях технического сервиса АПК постепенно возрастает, однако работа по созданию систем менеджмента качества на них практически отсутствует. Причиной сложившейся ситуации является как кризисное состояние отрасли, так и сложность, а также масштабность задач по разработке и внедрению эффективной и результативной СМК.

Одним из основополагающих принципов создания систем менеджмента качества является процессный подход, основанный на формировании сети бизнес-процессов организации и последующего управления этими процессами. Процессный подход был впервые реализован в третьей версии стандартов ИСО серии 9000 (версии 2000 г.).

Система менеджмента качества разрабатывается применительно к сети процессов. При этом работа каждой организации выполняется посредством сети процессов с довольно сложной структурой. Организация создает, улучшает и обеспечивает постоянное качество продукции или услуг, организовывая и управляя своей сетью процессов и их взаимодействием. Это и является коренной кон-

цептуальной основой стандартов ИСО серии 9000 [2].

Преимущество процессного подхода состоит в непрерывности управления, которое он обеспечивает на стыке отдельных процессов в рамках их системы, а также при их комбинации и взаимодействии [3]. В этой связи желаемый результат достигается эффективнее, когда деятельностью и соответствующими ресурсами управляют как процессом. В соответствии с ГОСТ ISO 9001–2011 [4], деятельность, в которой используются ресурсы для преобразования входов в выходы, может рассматриваться как процесс. Основным нормативно-методическим документом, регламентирующим деятельность по анализу, идентификации и менеджменту процессов организации, являются рекомендации ВНИИС Р 50-601-46-2004 «Методика менеджмента процессов в системе качества». Детально и системно вопросы реализации процессного подхода при создании СМК представлены в работе [5].

На основе указанных рекомендаций и требований национального стандарта ГОСТ ISO 9001–2011 разработан реестр основных и вспомогательных процессов для сервисной организации АПК (таблица). Все процессы предприятия ТС разделены на 4 группы в соответствии с блоками требований стандарта ГОСТ ISO 9001–2011.

Важнейшим элементом СМК предприятия ТС АПК является взаимосвязь и взаимодействие процессов в рамках системы. Схема взаимодействия общего процесса деятельности предприятия ТС АПК с процессами внешних сторон представлена на рис. 1.

Используемый многими авторами подход к подразделению процессов на основные, вспомогательные и процессы управления не в полной мере соответствует подходам и структуре требований ГОСТ Р ISO 9001–2011. Поэтому для анализа взаимосвязи и взаи-

Типовой реестр основных и вспомогательных процессов СМК для дилерского центра

№	Наименование СТО	Пункт ИСО 9001:2008
	Процессы ответственности руководства и управления	
1	Организация разработки, функционирования и совершенствования СМК	5.4.2, 5.5.1, 5.5.2
2	Организация менеджмента процессов	4.1, 5.5.1, 5.5.2
3	Управление документами и записями	4.2.1, 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4
4	Исследование рынка и анализ контракта (маркетинг)	7.2.1, 7.2.2
5	Внутренний обмен информацией	5.5.3
6	Анализ удовлетворенности потребителей и других заинтересованных сторон	5.2, 7.2.3, 8.2.1
7	Анализ СМК со стороны руководства	5.6
	Процессы менеджмента ресурсов	
8	Управление персоналом	6.2.1, 6.2.2
9	Управление инфраструктурой	4.1, 6.1, 6.3
10	Управление производственной средой	4.1, 6.1, 6.4
11	Управление финансовыми ресурсами	4.1, 6.1
	Процессы жизненного цикла продукции	
12	Планирование процессов жизненного цикла продукции	4.1, 7.1
13	Планирование производства	7.1, 7.3.1
14	Процесс технологической подготовки производства	7.5.1, 7.5.2
15	Управление закупками и хранение материалов	7.4, 7.5.5
16	Проектирование и разработка услуг	7.3
17	Обслуживание и ремонт производственного оборудования	6.3
18	Предоставление услуг по ТО и Р	7.5
19	Гарантийное обслуживание техники	7.2.1, 7.5.1
20	Управление оборудованием для мониторинга и измерений	7.6
	Процессы измерения, анализа и улучшения	
21	Мониторинг и измерение продукции	8.1, 8.2.4
22	Мониторинг и измерение процессов	8.1, 8.2.3
23	Внутренний аудит СМК	8.2.2
24	Управление несоответствующей продукцией (несоответствиями)	8.3
25	Корректирующие и предупреждающие действия	8.5.2, 8.5.3

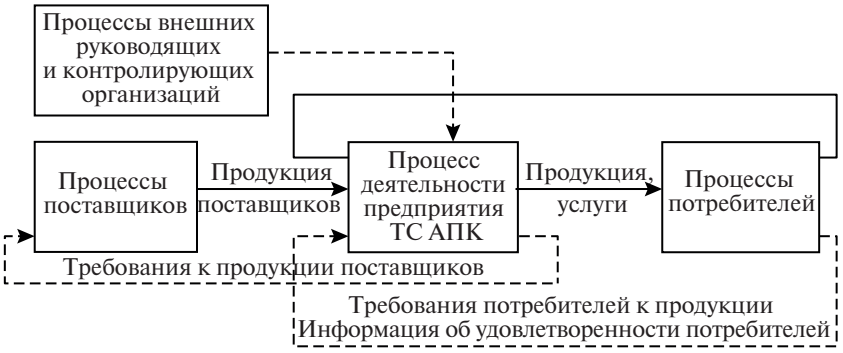


Рис. 1. **Схема взаимодействия общего процесса деятельности предприятия ТС АПК**

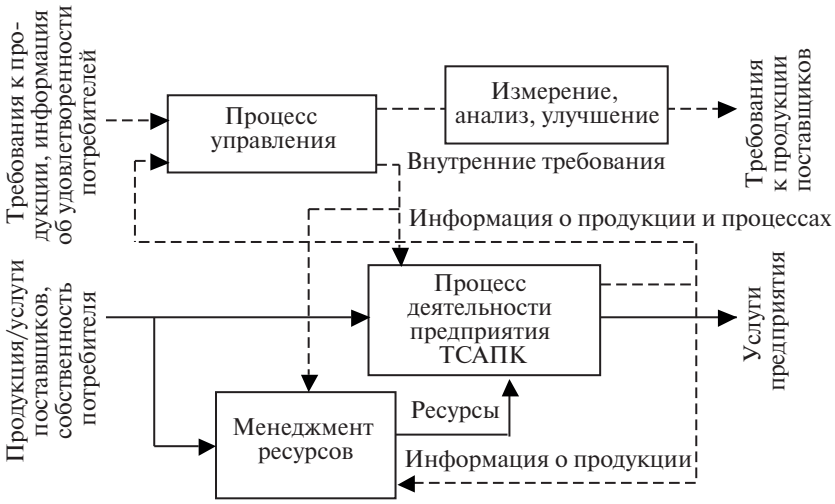


Рис. 2. **Группы процессов предприятия ТС АПК и их взаимодействие**

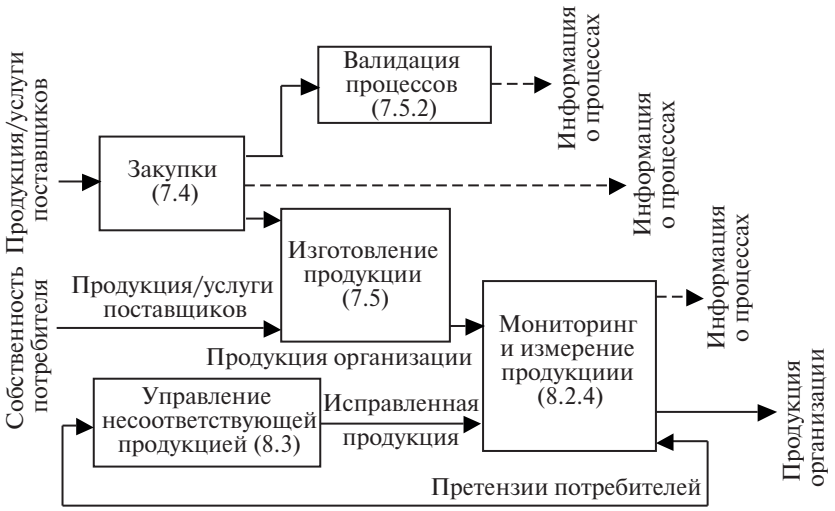


Рис. 3. **Процессы блока «Процессы жизненного цикла»**

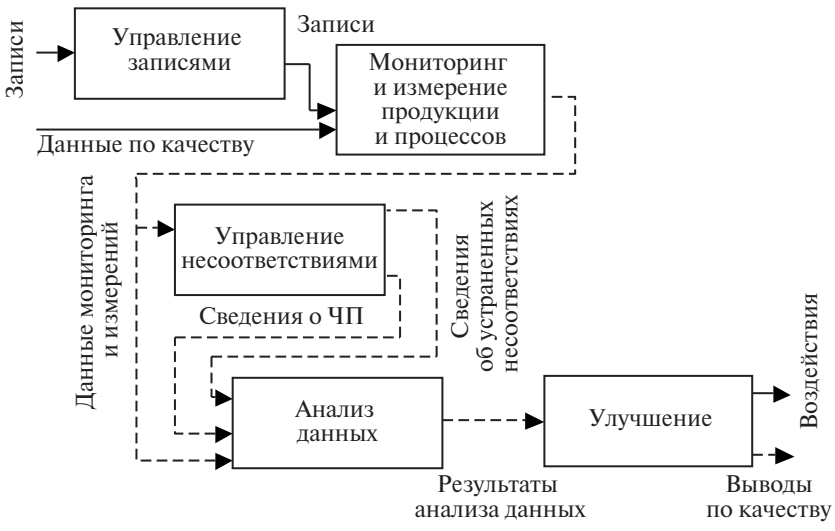


Рис. 4. **Процессы блока «Измерение, анализ, улучшение»**

модействия процессов деятельности предприятия ТС АПК используем классификацию процессов, представленную в таблице. Такая систематизация процессов гармонизирована с блоками требований СМК, основанной на процессном подходе и полностью соответствует структуре требований стандарта ИСО 9001:2008. Взаимодействие процессов предприятия ТС АПК в соответствии с указанным подходом в общем виде представлено на рис. 2.

Отразить на одной схеме взаимодействие всех процессов предприятия ТС АПК затруднительно из-за ее перегруженности. На рис. 3–6 представлены разработанные схемы взаимосвязи и взаимодействия типовых процессов предприятия ТС АПК по группам процессов, представленным на рис. 2.

Процессный подход является основой эффективной и результативной СМК предприятия ТС АПК, так как качество конечной продукции (оказываемых услуг) определяется качеством процессов. Менеджмент качества в рамках системы менеджмента сводится к руководству сетью процессов организации, формирующих качество конечной продукции (оказываемых услуг), которое в свою очередь определяет конкурентоспособность предприятия ТС АПК в условиях рыночной экономики.

Таким образом, разработан типовой реестр процессов для предприятия технического сервиса АПК, который может быть рекомендован при внедрении СМК на предприятиях ТС АПК и в дилерских центрах заводов-изготовителей сельскохозяйственной техники. Разработана также схема взаимосвязи и взаимодействия процессов предприятия ТС АПК, полностью гармонизированная со структурой требований стандарта ГОСТ ISO 9001–2011. Указанные разработки могут быть приняты за основу для подготовки более де-

тальных рекомендации и методических указаний по созданию СМК на основе МС ИСО серии 9000 на предприятиях технического сервиса АПК.

Список литературы

1. Самордин А.Н. Повышение качества услуг предприятий ТС АПК на основе системного подхода // Инновационные технологии в машиностроении (ИТМ–2011): материалы Всероссийской молодежной конференции. — М.: МГТУ «СТАНКИН», 2011. — 346 с.

2. Карпузов В.В., Самордин А.Н. Постановка менеджмента процессов сервисного предприятия АПК // Труды ГОСНИТИ. — 2013. — Т. 111. — Ч. 1.

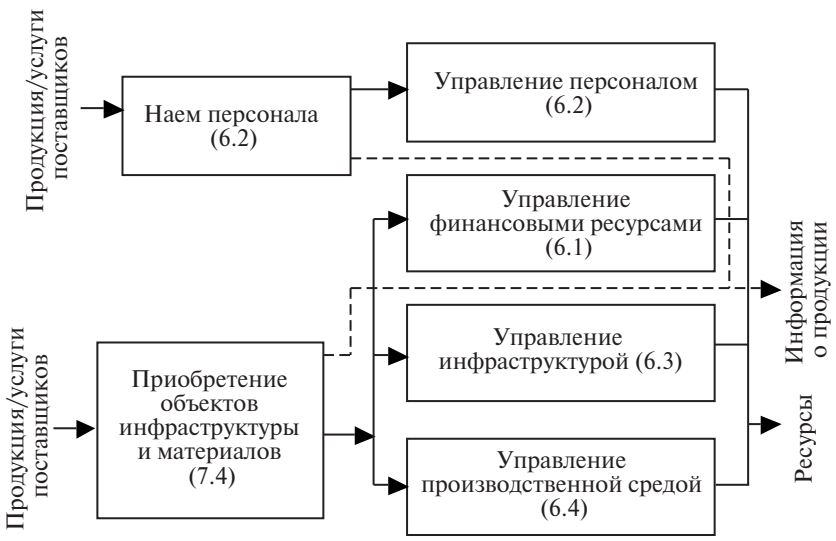


Рис. 5. **Процессы блока «Менеджмент ресурсов»**

Рис. 6. **Процессы блока «Процессы ответственности руководства и управления»**

3. ГОСТ ISO 9001–2011. Системы менеджмента качества. Требования. — М.: Стандартинформ, 2012. — 36 с.

4. ГОСТ ISO 9000–2011. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. — М.: Стандартинформ, 2012. — 32 с.

5. ISO 9001. Разработка, внедрение, сертификация, улучшение системы менеджмента качества. Практическое руководство для специалистов по качеству / Ю.П. Адлер, В.И. Васин, С.Л. Горелик и др. — Т. 1. — СПб.: Форум Медиа, 2008. — 316 с.

Рефераты статей
Brief reports

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
POWER TECHNOLOGY, POWER SUPPLY AND AUTOMATION OF AGRICULTURAL

УДК 631.371:621.31:519.21

Н.Н. Сырых, *доктор техн. наук, профессор*
Н.Е. Кабдин, *канд. техн. наук, доцент*
Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

ХАРАКТЕРИСТИКИ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕОРЕМ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ

Рассматривается методика определения необходимого объема выборочных исследований характеристик надежности электрооборудования.

Ключевые слова: выборочные исследования, характеристика надежности, теория вероятностей.

N.N. Syrykh, N.E. Kabdin
Moscow state agroengineering university named after V.P. Goryachkin

ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF RELIABILITY ON THE BASIS OF LIMIT THEOREMS

The technique of determining the required amount of sample surveys of reliability characteristics of electrical equipment.

Key words: sample surveys, the characteristics of reliability, probability theory.

Сырых Николай Николаевич, Кабдин Николай Егорович, зав. кафедрой, кафедра «Автоматизированный электропривод в сельском хозяйстве».
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 58, тел. (499) 976-30-54.

УДК 664.854:634.22+664.864.039.5:634.22

Г.Г. Юсупова, *доктор с.-х. наук, профессор*
Р.Х. Юсупов, *доктор техн. наук, профессор*
Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

Т.А. Толмачева, *канд. биол. наук, доцент*
Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск

ОБЕСПЕЧЕНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПЛОДОВО-ЯГОДНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ХЛЕБОПЕКАРНОЙ ПРОДУКЦИИ ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭНЕРГИЕЙ СВЧ-ПОЛЯ

Представлены результаты проведенных авторами исследований по обеззараживанию плодов кураги электротермическим воздействием энергией СВЧ-поля и определению эффективных режимов.

Ключевые слова: микроорганизмы, микроскопические грибы, сухофрукты, курага, методы консервирования, электротермический метод, энергия СВЧ-поля, режимы обработки.

G.G. Yusupova, R.Kh. Yusupov
Moscow state agroengineering university named after V.P. Goryachkin

T.A. Tolmacheva
South Ural State University, Chelyabinsk

ENSURING THE MICROBIOLOGICAL SAFETY OF FRUIT RAW MATERIAL FOR BAKERY PRODUCTS INFLUENCE THE ENERGY OF THE MICROWAVE FIELD

Presented the results of the study authors to decontaminate fruits apricots electrothermal impact energy of the microwave field and the definition of effective modes.

Key words: bacteria, microscopic fungi, dried fruit, dried apricots, preservation methods, electrothermal method, the energy of the microwave field, treatment regimens.

Юсупова Галина Георгиевна, кафедра «Метрология, стандартизация и управление качеством», Юсупов Рамазан Хабибрахманович, зав. кафедрой «Робототехнические системы».

127550, Москва, ул. Тимирязевская, 58, тел. (499) 976-30-54.
Толмачева Татьяна Анатольевна, кафедра «Хлебопекарное и кондитерское производство».
454080, г. Челябинск, пр-т Ленина, 76, тел. (351) 267-96-70.

УДК 636.294.036.5

Д.А. Горин, *аспирант*
С.П. Рудобашта, *доктор техн. наук*
Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ПРОЦЕССА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СВЧ-НАГРЕВА ПАНТОВ ОЛЕНЯ

Освещается вопрос технологического СВЧ-нагрева пантов оленя и приводится аналитическое решение математической модели нагрева.

Ключевые слова: панты, аналитическое решение, технологический процесс СВЧ-нагрева.

D.A. Gorin, S.P. Rudobashta
Moscow state agroengineering university named after V.P. Goryachkin

THE ANALYTICAL SOLUTION OF THE THERMAL PROBLEM OF DEER ANTLERS MICROWAVE HEATING PROCESS

This paper highlights the issue of microwave heating process of deer antlers. Analytical solution of the mathematical model of heating is developed.

Key words: antlers, analytical solution, microwave heating process.

Горин Дмитрий Александрович, Рудобашта Станислав Павлович, кафедра «Теплотехника и энергообеспечение предприятий».
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 58, тел. (499) 976-15-76.

УДК 631.3.032

С.А. Андреев, *канд. техн. наук, доцент*
Е.А. Петрова, *аспирантка*
Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ИОНОВ ОЗОНА ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ ДВИЖИТЕЛЕМ

Обоснована целесообразность использования электрического поля для подачи ионизированного озона в топочные камеры котлов. Проанализирована взаимосвязь соотношения начальной и текущей скорости движения ионов, их расположения по отношению к аноду и катоду, а также напряженности электрического поля и плотности зарядов.

Ключевые слова: движение газов, электростатика, электрическое поле, ионизация, озон, скорость движения ионов, плотность тока.

S.A. Andreev, E.A. Petrova
Moscow state agroengineering university named after V.P. Goryachkin

STUDY OF THE QUANTITATIVE CHARACTERISTICS OF THE PROCESS OF ION MOVEMENT OZONE ELECTROSTATIC THRUSTER

Justified the use of electric fields to feed ionized ozone in the combustion chamber of the boiler. Analyzed the correlation ratio and the initial velocity of the ions present their location in relation to the anode and cathode, as well as the electric field and the charge density.

Key words: movement of gases, electrostatics, electric field, ionization, ozone, the velocity of the current density.

Андреев Сергей Андреевич, Петрова Елена Алексеевна, кафедра «Информационно-управляющие системы».
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 58, тел. (499) 977-66-14 доб. 552.

УДК 620:9

Е.А. Муравлёва, *аспирантка*
С.П. Рудобашта, *доктор техн. наук*
Московский государственный агроинженерный университет имени В.И. Горячкина

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ФЕРМЕРСКОГО ДОМА НА ОСНОВЕ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Проанализирован потенциал ветроэнергетики на территории России. Определены габариты ветровых электроустановок (ВЭУ), пригодные для электроснабжения фермерского дома для различных регионов России. Рассчитана экономическая эффективность применения ВЭУ в различных климатических условиях.

Ключевые слова: ветровая электроустановка, электроснабжение.

E.A. Muravleva, S.P. Rudobashta
Moscow state agroengineering university named after V.P. Goryachkin

EFFICIENCY ELECTRICITY FARMHOUSE BASED WIND POWER INSTALLATION OF LOW POWER

The potential of wind power on the territory of Russia was analyzed. Dimensions of wind turbines which are necessary for farming house electrification in different regions of Russia were determined. Economic efficiency of using wind turbines in different climatic conditions was calculated.

Key words: solar collector, hot water system.

Муравлева Екатерина Александровна, Рудобашта Станислав Павлович, зав. кафедрой, кафедра «Теплотехника и энергообеспечение предприятий».
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 58, тел. (499) 976-15-76.

УДК 631.5:634.721

А.А. Цымбал, *доктор с.-х. наук, профессор*
Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

Д.О. Хорт
Всероссийский селекционно-технологический институт садоводства и питомниководства Россельхозакадемии

ОСВОЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЯ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ АГРОТЕХНОЛОГИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЧЕРНОЙ СМОРОДИНЫ

Рассмотрена комплексная программа для автоматизированного проектирования и последующего управления различными вариантами технологии выращивания и уборки черной смородины с учетом их биоклиматического потенциала.

Ключевые слова: автоматизированная система проектирования технологий выращивания черной смородины, биологический потенциал урожайности, программирование урожайности, модуль по анализу агроклиматических показателей.

A.A. Tsymbal
Moscow state agroengineering university named after V.P. Goryachkin

D.O. Khort
Russian Breeding and Technological Institute of Horticulture and Nursery RAAS

MASTERING THE PRINCIPLES OF PROGRAMMING FOR AUTOMATED DESIGN OF CROP CULTIVATION AGROTECHNOLOGIES BLACKCURRANT.

Considered a comprehensive program for computer-aided design and subsequent management of different versions of the technology of cultivation and harvesting of black currant with regard to their bioclimatic potential.

Key words: automated system design technologies for growing blackcurrant, biological yield potential, programming productivity, unit analysis agroclimatic indices.

Цымбал Александр Андреевич, кафедра «Гидравлика и гидравлические машины».
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 58, тел. (499) 976-30-54.
Хорт Дмитрий Олегович, отдел механизации.
115598, Москва, ул. Загорьевская, 4, тел. (495) 329-51-66.

УДК 621.31

З.Г. Иванова, *аспирантка*
Н.Л. Макарова, *аспирантка*
Марийский государственный университет

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ В ОБМОТКАХ СУХИХ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Рассмотрена разработка устройства для выявления витковых замыканий в обмотках сухих силовых трансформаторов.

Ключевые слова: витковые замыкания, сухие силовые трансформаторы, резонансная частота.

Z.G. Ivanova, N.L. Makarova
Mari State University

DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR DETECTING FAULTS IN THE WINDINGS INTERTURN DRY POWER TRANSFORMERS

Considered to provide an apparatus for detecting faults in the windings interturn dry power transformers.

Key words: coiled circuit dry power transformers, the resonant frequency.

Иванова Зинаида Геннадьевна, Макарова Надежда Леонидовна, кафедра «Электроснабжение и техническая диагностика».
424000, г. Йошкар-Ола, ул. Машиностроителей, 15, тел. (8362) 41-28-02.

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА
EQUIPMENT AND TECHNOLOGIES OF AGROINDUSTRIAL COMPLEX

УДК 665:631.3.004.12

В.П. Коваленко, *доктор техн. наук, профессор*
Е.А. Улюкина, *канд. техн. наук, доцент*
А.С. Новик, *аспирант*
Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина»

А.Н. Приваленко, *канд. техн. наук, доцент*
25 ГосНИИ химмотологии МО РФ

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Показан контроль качества нефтепродуктов, обеспечивающего надежную, долговечную и безаварийную работу машин и оборудования.

Ключевые слова: качество нефтепродуктов; экспресс-метод; контроль; загрязненность; вязкость.

V.P. Kovalenko, E.A. Ulyukina, A.S. Novik
Moscow state agroengineering university named after V.P. Goryachkin

A.N. Privalenko
25 GosNII himmotologii Defense Ministry

QUALITY CONTROL OF OIL PRODUCTS AT OPERATION OF AGRICULTURAL MACHINERY

Quality control of petroleum products is one of the conditions to ensure reliable, long-lasting and trouble-free operation of machines and equipment.

Key words: quality of petroleum products; rapid method, control, pollution, viscosity.

Коваленко Всеволод Павлович, Новик Алексей Сергеевич, кафедра «Автомобильный транспорт», тел. (499) 976-38-37 доб. 271; Улюкина Елена Анатольевна, зав. кафедрой «Химия», тел. (499) 976-38-37 доб. 234.
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 58, тел. (499) 976-30-54.
Приваленко Алексей Николаевич.
21467, Москва, ул. Молодогвардейская, 10, тел. (499) 141-97-37.

УДК 631.3:004–192

В.А. Семейкин, *доктор экон. наук, профессор*
А.С. Дорохов, *доктор техн. наук, доцент*
Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

Приводятся методы оценки эффективности входного контроля качества техники, поставляемой сельхозтоваропроизводителям. Дается описание компьютерной программы и номограмм определения показателей эффективности процесса входного контроля качества сельскохозяйственной техники.

Ключевые слова: эффективность входного контроля, оценка эффективности входного контроля, качество техники.

V.A. Semeykin, A.S. Dorokhov
Moscow state agroengineering university named after V.P. Goryachkin

METHODS FOR EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF INCOMING QUALITY CONTROL

The methods of evaluating the effectiveness of incoming quality control equipment supplied by agricultural producers. A description of the computer program and nomograms determine performance process incoming quality control of agricultural machinery.

Key words: efficiency of input control, evaluation of the effectiveness of input control, quality engineering.

Семейкин Владимир Александрович, кафедра «Материально-техническое обеспечение АПК»; Дорохов Алексей Семенович, зав. кафедрой «Инженерная графики».
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 58, тел. (499) 977-24-10 доб. 279.

УДК 331:681.5

В.Т. Сергованцев, *доктор техн. наук, профессор*
Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

УПРАВЛЯЕМОСТЬ ДВИЖЕНИЙ В МИРЕ

Развитие и разрушение — два глобальных вектора движения Мира. Генерируют и управляют движениями глобальные автоматы и разум. Мир управляем. Под управлением борьбы как автомата мир встал на путь движения к катастрофе. Ставится задача — удалить из власти над Миром борьбу.

Ключевые слова: управление, движение Мира, автоматы, разум, борьба.

V.T. Sergovantsev
Moscow state agroengineering university named after V.P. Goryachkin

CONTROL OF MOVEMENTS IN THE WORLD

Development and destruction — two global motion vector of the World. Generate and control the movements of machines and a global mind. World manageable. Under the control of the fight as a machine world on the path of motion to a catastrophe. The task — to remove from power over the world struggle.

Key words: management, peace movement, machine intelligence, fighting.

Сергованцев Владимир Трофимович, кафедра «Информационно-управляющие системы».
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 58, тел. (499) 976-30-54.

УДК 502/504 631.311.5

С.К. Тойгамбаев, *канд. техн. наук, профессор*
В.А. Шмонин, *доктор техн. наук, профессор*
Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

Н.К. Теловов, *доцент*
Московский государственный университет природообустройства

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕОРИИ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ГЛУБОКОРЫХЛИТЕЛЯ

Приведены результаты теории математического моделирования практических исследовании в области обработки полей. Рекомендованы основные параметры рабочего органа разработанного двухступенчатого двухрядного глубокорыхлителя.

Ключевые слова: глубокорыхлитель, лемех, почвенный профиль.

S.K. Toygambayev, *PhD. tehn. Sciences, Professor*
V.A. Shmonin, *Dr. Sci. Sciences, Professor*
Moscow state agroengineering university named after V.P. Goryachkin

N.K. Telovov, *Associate Professor*
Moscow State University of Environmental Engineering

A MATHEMATICAL MODEL OF THE THEORY OF DESIGN OF EXPERIMENTS ON THE USE OF CHISEL

The results of the theory of mathematical modeling of practical research in the field of processing fields. Recommended basic parameters of the working body of the developed two-stage double-row of chisel.

Key words: subsoiler, ploughshare, the soil profile.

Тойгамбаев Серик Кокибаевич, кафедра «Тракторы и автомобили»; Шмонин Владимир Алексеевич, кафедра «Сельскохозяйственные машины».
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 58, тел. (499) 977-23-77.
Теловов Нормурод Кандахорович, кафедра «Мелиоративные и строительные машины».
127550, Москва, ул. Прянишникова, 19, тел. (499) 976-22-22.

УДК 631.312.021.6

Н.В. Вольф, *доцент*
Московский государственный агроинженерный университент имени В.П. Горячкина

ИЗЫСКАНИЕ СХЕМ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПЛУГОВ ДЛЯ ГЛАДКОЙ ВСПАШКИ

Рассматривается совершенствование конструкции дисковых ножей фронтального плуга.

Ключевые слова: фронтальный плуг, дисковый нож с лопатками.

N.V. Volf
Moscow state agroengineering university named after V.P. Goryachkin

FINDING PATTERNS AND SWBS PLOWS FOR A SMOOTH PLOWING

We consider improving the design of circular knives front plow.

Key words: wheel plow, rotary cutter blades.

Вольф Николай Владимирович, кафедра «Сельскохозяйственные машины».
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 58, тел. (499) 977-24-01 доб. 286.

УДК 628.16:621.18

Н.К. Мартынова, *канд. техн. наук, доцент*
Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

ВЫБОР ЭКОЛОГИЧНОГО И ЭКОНОМИЧНОГО МЕТОДА ОБРАБОТКИ ВОДЫ НА ОБЪЕКТАХ МАЛОЙ МОЩНОСТИ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Приведен обзор существующих методов подготовки воды в малой энергетике. Сделан вывод о том, что магнитная обработка воды является наиболее экологичным и экономичным методом.

Ключевые слова: жесткость воды, накипеобразование, методы обработки воды, магнитная обработка воды.

N.K. Martynova
Moscow state agroengineering university named after V.P. Goryachkin

CHOOSING ECO-FRIENDLY AND ECONOMICAL METHOD OF WATER TREATMENT FACILITIES FOR LOW-POWER ENERGY

An overview of existing methods of water treatment in small-scale power. Concluded that magnetic water treatment is the most environmentally friendly and economical method.

Key words: water hardness, scale formation, water treatment methods, magnetic water treatment.

Мартынова Наталья Константиновна, кафедра «Химия».
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 58, тел. (499) 977-24-01 доб. 234.

УДК 621.013; 621.928; 622.74

Ю.Г. Чурин, *канд. техн. наук, доцент*
Костромская государственная сельскохозяйственная академия

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ ПО КРУПНОСТИ НА СЕПАРАТОРАХ ВИБРАЦИОННОГО ТИПА

Показано уменьшение объема вычислений при определении эффективности процесса разделения по крупности сыпучих (кусковых) материалов на сепараторах вибрационного типа (виброгрохотах).

Ключевые слова: сепарация, сепаратор вибрационного типа, разделение сыпучих материалов по крупности, гранулометрический состав.

Yu.G. Churin
Kostroma state agricultural academy

TO STUDY THE QUESTION OF THE SEPARATION PROCESS OF BULK MATERIALS BY SIZE ON A VIBRATION-TYPE SEPARATORS

Shown to decrease the amount of computation in determining the effectiveness of the process of separation by size bulk (lumpy) material on a vibration-type separators (vibrating screens).

Key words: separation, vibratory separator type, separation of bulk materials by size, particle size distribution.

Чурин Юрий Германович, кафедра «Высшая математика».
156530, Костромская обл., Костромской р-н, п. Караваево, учебный городок, тел. (4942) 65-70-25.

УДК 631.372.027

Н.А. Мочунова, *канд. техн. наук*
Московский государственный университет природообустройства

ВЫБОР И РАСЧЕТ НАСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРОВ

Показан расчет настройки регуляторов автоматической системы регулирования давления воздуха в шинах в зависимости от буксования, позволяющий определить эффективность разработанной системы.

Ключевые слова: функция, давление в шинах, регуляторы, кривые разгона, трактор.

N.A. Mochunova
Moscow state university of environmental engineering

SELECTION AND CALCULATION SETTINGS REGULATORS

Shows the calculation of the setting of governors of automatic control system for tire pressure depending on slippage, allowing to determine the effectiveness of the developed system.

Key words: function, tire pressure regulators, acceleration curves, tractor.

Мочунова Наталья Александровна, кафедра «Защита в чрезвычайных ситуациях».
127550, Москва, ул. Прянишникова, 19, тел. 976-49-31.

УДК 631.311.5

Х.А. Абдулмажидов, *канд. техн. наук*
Московский государственный университет природообустройства

ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕНЕНИЯ РАЗМЕРОВ ОСУШИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

Приведены характеристики изменения проектных и конструкторских размеров осушительных каналов. Представлены негативные явления, влияющие на пропускную способность каналов. Даны причины применения комплексов каналоочистительных машин.

Ключевые слова: каналоочистители, осушительная система, параметры осушительных каналов, наносы, заиление в каналах, параметры рабочих органов.

Kh.A. Abdulmazhidov
Moscow state university of environmental engineering

FEATURES RESIZING DRAINAGE CHANNELS

The characteristics of the design and engineering changes the size of drainage channels. Presented negative phenomena affecting the channel capacity. Given reasons for applying complexes kanaloochistitelnyh machines.

Key words: dredger, drainage system, the parameters of drainage channels, sediment, siltation in the channels, the parameters of working bodies.

Абдулмажидов Хамзат Арсланбекович, кафедра «Мелиоративные и строительные машины».
127550, Москва, ул. Прянишникова, 19, тел. (499) 976-22-22.

УДК 514.18:631.312.021.3/.4

А.А. Васьков, *канд. техн. наук, доцент*
К.А. Краснящих, *аспирант*
Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

РАЗВЕРТЫВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ОТВАЛА И ЛЕМЕХА НА ПЛОСКОСТЬ

Приводятся понятия и методы графического построения развертывающихся лемешно-отвальных поверхностей.

Ключевые слова: начертательная геометрия, лемешно-отвальные поверхности, развертывающиеся поверхности, направляющая кривая.

A.A. Vaskov, K.A. Krasnyashchikh
Moscow state agroengineering university named after V.P. Goryachkin

DEPLOYING AND COULTER BLADE SURFACE ON THE PLANE

Are concepts and methods of plotting the plowshare-developable surfaces dump.

Key words: descriptive geometry, plowshare-dumping surface, developable surfaces, the guide curve.

Васьков Александр Анатольевич, Краснящих Константин Александрович, кафедра «Инженерная графика».
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 58, тел. (499) 977-24-10 доб. 280.

УДК 626.83

С.Ю. Переверзев, *аспирант*
Московский государственный университет природообустройства

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ НЕРАСТВОРЕННОГО В ВОДЕ ВОЗДУХА НА ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ

При возникновении и протекании переходных процессов в напорных системах водоподачи большую роль играет наличие в транспортируемой воде нерастворенного воздуха. Учет этого фактора позволит повысить точность расчетов водохозяйственных систем и приблизить их результаты к результатам натурных исследований.

Ключевые слова: переходные процессы, нерастворенный в воде воздух, напорные трубопроводы, разрыв сплошности потока.

S.Yu. Pereversev
Moscow state university of environmental engineering

ACCOUNTING FOR THE EFFECTS OF INSOLUBLE IN WATER, AIR PRESSURE TRANSIENTS IN PIPELINES

The origin and flow transients in pressurized water delivery systems plays an important role in the presence of undissolved water transported air. This factor will increase the accuracy of calculations of water systems and bring their results to the results of field studies.

Key words: transients insoluble in water air pressure lines, break the continuity of the flow.

Переверзев Сергей Юрьевич, кафедра «Сельскохозяйственное водоснабжение и водоотведение».
127550, Москва, ул. Прянишникова, 19, тел. (499) 976-11-85.

УДК 628.147:628.882:557.4

Л.Б. Бекишева, *аспирантка*
Московский государственный университет природообустройства

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ КАК МЕТОД СИНТЕЗА ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

Рассмотрены вопросы адаптации генетического алгоритма к задачам комплексной оптимизации систем подачи и распределения воды.

Ключевые слова: оптимизация, система подачи и распределения воды, генетический алгоритм, целевая функция, система ограничений, функция принадлежности.

L.B. Bekisheva
Moscow state university of environmental engineering

GENETIC ALGORITHM AS A METHOD FOR THE SYNTHESIS OF PIPELINE SYSTEMS

The questions of adaptation of genetic algorithm to the problems of complex optimization systems water supply and distribution.

Key words: optimization, system of water supply and distribution, genetic algorithm, the objective function, the system limits the membership function.

Бекишева Лаура Борисовна, кафедра «Вычислительная техника и прикладная математика».
127550, Москва, ул. Прянишникова, 19, тел. (499) 153-97-66.

ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ
TECHNICAL SERVICE IN AGRICULTURAL COMPLEX

УДК 629.33.004.67

В.Ю. Бойков, *доцент*
А.Ф. Ахметзянов
Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ТРУБЫ СИСТЕМЫ ВЫПУСКА ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ АВТОМОБИЛЯ

Представлено восстановление работоспособности деталей и поверхностей с помощью клеевых составов.

Ключевые слова: клеевые составы, клеевая накладка, термостойкий адгезивный материал.

V.Yu. Boykov, A.F. Akhmetzyanov
Moscow state agroengineering university named after V.P. Goryachkin

RESTORATION OF THE TIGHTNESS PIPE EXHAUST SYSTEM OF A VEHICLE

Presented by the recovery efficiency of parts and surfaces using adhesives.

Key words: adhesives, adhesive pad, heat-resistant adhesive.

Бойков Владислав Юрьевич, Ахметзянов Арслан Фаритович, кафедра «Сопротивление материалов и детали машин».
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 58, тел. (499) 976-38-37 доб. 288.

УДК 621.828

А.Г. Пастухов, *доктор техн. наук, профессор*
А.В. Ефимцев, *аспирант*
Белгородская государственная сельскохозяйственная академия имени В.Я. Горина

РАДИАЛЬНЫЙ ЗАЗОР В КАРДАННЫХ ШАРНИРАХ ТРАКТОРА «ДЖОН ДИР» В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Представлены результаты изменений радиального зазора в карданных шарнирах тракторов «Джон Дир» седьмой серии в зависимости от нагруженности и наработки. Радиальный зазор позволяет оценить техническое состояние и долговечность карданных шарниров.

Ключевые слова: радиальный зазор, ресурс, карданный шарнир, наработка.

A.V. Efimtsev, A.G. Pastukhov
Belgorod State Agricultural Academy named after V.Ya. Gorin

RADIAL GAP IN CARDAN JOINTS OF TRACTOR JOHN DEERE IN OPERATION

In article results of changes of a radial gap in cardan hinges of the John Deere tractors of the seventh series depending on loading and an operating time are presented. The radial gap allows to estimate a technical condition and durability of cardan hinges.

Key words: a radial gap, resource, cardan, operating time.

Пастухов Александр Геннадиевич, зав. кафедрой, Ефимцев Андрей Витальевич, кафедра общетехнических дисциплин.
308503, Белгородская обл., Белгородский р-н, п. Майский, ул. Вавилова, 1, тел. (4722) 39-23-90.

УДК 621.8

О.Г. Кокорева, *канд. техн. наук, доцент*
Московский государственный агроинженерный университет имени В.И. Горячкина

МЕХАНИЗМ МИКРОСТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПРОЦЕССА УПРОЧНЕНИЯ ВЫСОКОМАРГАНЦОВИСТОЙ СТАЛИ ПРИ СТАТИКО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКЕ

Представлен механизм микроструктурных изменений процесса упрочнения высокомарганцовистой стали (ВМС) при статико-импульсной обработке (СИО). Установлено влияние плотности дислокаций, об-

разования вторичных фаз и механических двойников, приводящих к изменению кристаллической структуры обрабатываемой поверхности.

Ключевые слова: микроструктура, поверхностный слой, двойникование, дислокации, статико-импульсная обработка, упрочнение, высокомарганцовистая сталь, поверхностно-пластическая деформация, физико-механические свойства.

O.G. Kokoreva
Moscow state agroengineering university named after V.P. Goryachkin

THE MECHANISM OF THE PROCESS OF STRENGTHENING THE MICROSTRUCTURAL CHANGES AT HIGH MANGANESE STEEL STATIC- PULSE TREATMENT

The mechanism of microstructural changes of the process of hardening high manganese steel for static-pulse treatment. The influence of the dislocation density, the formation of secondary phases and mechanical counterparts, resulting in a change in the crystal structure of the treatment surface.

Key words: microstructure surface layer twinning dislocations static-pulse treatment, hardening, high manganese steel, plastic deformation of the surface, the physico-mechanical properties.

Кокорева Ольга Григорьевна, кафедра «Сопротивление материалов и детали машин».
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 58, тел. (499) 976-38-37 доб. 288.

УДК 502/504 : 631.347

А.С. Апатенко, *канд. техн. наук, доцент*
Н.И. Владимирова, *аспирантка*
Московский государственный университет природообустройства

АНАЛИЗ СИСТЕМ РЕМОНТНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Проведен обзор систем ремонтно-профилактического обслуживания технологических машин. Выявлены их недостатки и достоинства.

Ключевые слова: техническое обслуживание, ремонт, отказы, парк машин.

A.S. Apatenko, N.I. Vladimirova
Moscow state university of environmental engineering

ANALYSIS SYSTEMS REPAIR AND PREVENTIVE MAINTENANCE OF TECHNOLOGICAL MACHINES

A review of systems repair and preventive maintenance of technological machines. Revealed their advantages and disadvantages.

Key words: maintenance, repairs, cracks, machine park.

Апатенко Алексей Сергеевич, Владимирова Наталия Ивановна, кафедра «Технологии металлов и ремонта машин».
127550, Москва, ул. Прянишникова, 19, тел. (499) 976-20-18.

УДК 631.173.004.12

А.Н. Самордин, *аспирант*
Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССНОЙ МОДЕЛИ УНИВЕРСАЛЬНОГО ДИЛЕРСКОГО ЦЕНТРА АПК

Рассмотрена важность внедрения процессного подхода на предприятиях технического сервиса АПК, сформирован типовой реестр процессов, который может быть рекомендован при внедрении СМК на предприятиях ТС АПК, представлена взаимосвязь и взаимодействие процессов предприятия ТС АПК.

Ключевые слова: процессный подход, система менеджмента качества, реестр процессов, взаимосвязь и взаимодействие процессов.

A.N. Samordin
Moscow state agroengineering university named after V.P. Goryachkin

DEVELOPMENT PROCESS MODEL OF UNIVERSAL DEALERSHIP AIC

Discussed the importance of implementing a process approach to technical service enterprises AIC formed typical registry processes that can be recommended for the QMS implementation in enterprises TS AIC shows the relationship and interaction processes of the enterprise TS AIC.

Key words: process approach, quality management system, the registry process, relationship and interaction processes.

Самордин Андрей Николаевич, кафедра «Метрология, стандартизация и управление качеством».
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 58, тел. (499) 976-44-74.

Научный журнал

ВЕСТНИК
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина»

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

Выпуск 1(57)

Под редакцией Т.Б. Лещинской, О.А. Леонова, С.П. Казанцева

Индекс издания в каталоге агентства «Пресса России» — 42252

Редактор *Г.А. Кунахович*

Набор *В.И. Левина*

Верстка *Д.Н. Сахаров*

Подписано в печать 15.08.2013.
Формат 60×84/8.
Усл. печ. л. 11.
Тираж 300 экз. Заказ № 918.
Цена подписная.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина»

Отпечатано в издательском центре ФГБОУ ВПО МГАУ
Адрес: 127550, Москва, ул. Тимирязевская, д. 58. Тел. (499) 976-0264. E-mail: t_sams@mail.ru