

ТЕХНИКА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СЕЛА

MACHINERY AND EQUIPMENT FOR RURAL AREA

В НОМЕРЕ

Техническая политика в АПК

Федоренко В.Ф. Обоснование параметров природоподобных технических систем внутрпочвенной обработки садовых насаждений 2

Технико-технологическое оснащение АПК: проблемы и решения

RSM 161: для сложных хлебов 6

Ревенко В.Ю., Трубицын В.Н., Трубицын Н.В., Дулясова М.В. К вопросу определения площади пятна контакта шин тракторов и сельскохозяйственных машин 8

Дидманидзе О.Н., Ажмухамедов И.М., Меликов А.В., Билич О.Г. Новый метод определения траектории движения беспилотной самоходной машины сельскохозяйственного назначения 13

Технологии, машины и оборудование для АПК

Комаров В.А., Бакаева О.А., Шабанов Г.И. Разработка экспертной системы посева сельскохозяйственных культур с использованием искусственного интеллекта 17

Севостьянов А.Л., Максимов В.Г., Ветров А.А. Скоростной культиватор полосовой обработки почвы 20

Киприянов Ф.А., Савиных П.А. Результаты исследования механизма и особенностей микронизации фуражного зерна 24

Лимаренко Н.В., Успенский И.А., Юхин И.А., Митрохина Е.В., Митрохин С.В. Результаты эффективности подавления цист кишечных патогенов простейших механическими колебаниями на частоте ультразвука в свином бесподстилочном навозе 28

Бабкина А.В., Мартеха А.Н., Торопцев В.В., Залеская Е.Н., Корчевская Е.А. Создание цифрового двойника линии по производству сыров на основе технологии виртуальной реальности 33

Агеева Е.В., Серебровский В.И., Серникова О.С. Адгезионная прочность электроосажденных покрытий, полученных с применением диспергированных электроэрозией твердых сплавов 37

Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение АПК

Буторин В.А., Гусейнов Р.Т., Царев И.Б. Статистические распределения эксплуатационных факторов, влияющих на срок службы контактов магнитных пускателей пускозащитной аппаратуры погружных электродвигателей 40

Аграрная экономика

Маслова В.В., Зарук Н.Ф., Авдеев М.В. Методические подходы к оценке инвестиционной привлекательности сельского хозяйства России и других государств-членов ЕАЭС 44

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Входит в ядро РИНЦ и базу данных RSCI

Полные тексты статей размещаются на сайте электронной научной библиотеки eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru>

Журнал включен в международную базу данных AGRIS ФАО ООН, в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Научные специальности и соответствующие им отрасли науки, по которым издание включено в Перечень ВАК:

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки);

4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса (технические науки);

5.2.3. Региональная и отраслевая экономика (экономические науки)

Редакция журнала:

141261, Московская обл., г.о. Пушкинский, рп. Правдинский, ул. Лесная, д. 60. Тел. (495) 993-44-04
fgnu@rosinformagrotech.ru; r_technica@mail.ru <https://rosinformagrotech.ru>



Перепечатка материалов, опубликованных в журнале, допускается только с разрешения редакции.

© «Техника и оборудование для села», 2024

Отпечатано в ФГБНУ «Росинформагротех»

Подписано в печать 22.11.24 Заказ 167

УДК 631.31

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-11-2-5

Обоснование параметров природоподобных технических систем внутрипочвенной обработки садовых насаждений

В.Ф. Федоренко,

д-р техн. наук, проф., акад. РАН, гл. науч. сотр.,
f@maro.pro; vim@vim.ru
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Аннотация. Представлены результаты исследования и обоснование инновационных природоподобных физических принципов и параметров технических систем, выполненных в соответствии с современными представлениями о физиологии растений, продукционных процессах в садоводстве, основанных на концепции симбиоза растений и микроорганизмов почвы, парадигме создания оптимальных условий сохранения и развития биоценозов, сформировавшихся в корнеобитаемых слоях почвы за счет внутрипочвенной обработки, рыхления, аэрации импульсами сжатого воздуха посредством погружения в почву пневмогидробуров, последующего орошения, внесения удобрений и гидрогеля.

Ключевые слова: садоводство, корнеобитаемые слои почвы, обработка, почва, гидрогель, аэрация, симбиоз, почвенные биоценозы, пневмогидробур.

Постановка проблемы

Анализ теоретических предпосылок, обоснование концептуальных принципов и параметров свидетельствуют, что возможно применение сжатого воздуха в технических системах, рабочих инструментах, альтернативных физико-механических приемах и орудиях для обработки почвы в зависимости от ее типа, твердости, влажности и особенностей конструктивно-технологических параметров наконечника пневмогидробура [1, 2].

Геометрия наконечника в значительной степени определяет величину силы пенетрации, а следовательно, энергоэффективность процесса его погружения и последующей обработки сжатым воздухом (рыхление, формирование полостей и микропустот, их аэрация, а затем заполнение водой, растворами удобрений, пестицидов, гидрогеля) [3, 4]. При погружении наконечник, преодолевая силу пенетрации, создает в почве напряженное состояние, которое в соответствии с законом распределения давления и геометрией наконечника формирует в поперечном его сечении процессы сжатия, растяжения и внутрипочвенного трещинообразования [5].

На основании результатов многочисленных исследований представляется возможным и целесообразным

с высокой степенью точности и достоверности считать вертикально сформировавшиеся в процессе эволюции и сельскохозяйственной деятельности корнеобитаемые слои почвы почвогрунтами, к которым возможно и адекватно применение положений теории упругости, а при оценке процессов сжатия и растяжения почвы рассматривать их как линейно деформирующие среды, в которых трещинообразование происходит и совпадает с вектором действия максимальной силы давления [6, 7].

Цель исследования – обоснование оптимальных конструктивно-технологических параметров наконечников пневмогидробуров, глубины их погружения в почву, разработка алгоритма контактного взаимодействия линейно-деформированных сред при вертикальном погружении пневмогидробуров и взаимодействии наконечников с почвой по аналогии взаимодействия двух объектов по многим участкам контакта.

Материалы и методы исследования

При выполнении научно-исследовательских работ применялись методы анализа, обобщения информационных, статистических и экспериментальных сведений, проведения лабораторных и полевых исследований на основе и с использованием семи разработанных технических решений, защищенных патентами, из которых три – оригинальные конструкции пневмогидробуров.

Лабораторные исследования и производственная проверка проводились с использованием изготовленных мобильных лабораторий, которые позволили в полевых условиях ряда регионов оценить эффективность внутрипочвенной подачи импульсов сжатого воздуха в корнеобитаемые горизонты почвы с последующим внесением водно-воздушных смесей и водных растворов удобрений, пестицидов, гидрогеля через универсальные пневмогидробуры.

Результаты исследований анализировали с учетом оценки закономерностей и эмпирического понимания необходимости и целесообразности перехода растениеводства на природоподобные технологические процессы и технические системы, интеграции их в естественный ресурсооборот на основании современных принципиальных представлений о физиологии растительных, почвенных организмов [7, 8].

Результаты исследований и обсуждение

По результатам проведенных экспериментальных и полевых исследований установлена высокая физиологическая эффективность и адекватно значимая физическая устойчивость процессов внутрипочвенной обработки, рыхления, аэрации импульсами сжатого воздуха корнеобитаемых слоев почвы [9, 10].

В этой связи актуальна разработка алгоритма обоснования оптимальных конструктивных параметров наконечника пневмогидробура, обеспечивающего высокую адекватность, энергоэффективность и качество погружения в почву на заданную глубину. Сформирована схема графического представления о распределении давления по участкам контакта поверхностей взаимодействия корнеобитаемых слоев почвы и вертикально погружаемых наконечников пневмогидробуров [11]. Выбраны три наиболее приемлемые элементарные формы поверхностей взаимодействия, контакта наконечника пневмогидробура и почвы (рис. 1).

В плоскости, перпендикулярной векторам максимально сжимающих напряжений, формируются напряжения растяжения, предел прочности которых значительно ниже, чем при напряжениях сжатия. Вследствие этого при достижении предельных значений происходит отрыв слоев почвы и образование трещин [12].

По участку контакта двух сжимающихся объектов распределение величины давления может быть описано уравнением

$$F(x) = \frac{F + k(b^2 - 2x^2)}{\pi\sqrt{b^2 - x^2}}, \quad (1)$$

где $F(x)$ – давление в точке участка поверхности контакта;

F – равнодействующая сил внешнего давления;

b – полуширина поверхности контакта;

k – константа, зависящая от формы поперечного сечения наконечника пневмогидробура, рассчитывается по формуле

$$k = \frac{f_1''(0) + f_2''(0)}{2(C_1 + C_2)}, \quad (2)$$

где C_1 и C_2 – постоянные упругости сжимающихся объектов:

$$C_1 = \frac{2(1 - \eta_1^2)}{\pi B_1}; C_2 = \frac{2(1 - \eta_2^2)}{\pi B_2}; \quad (3)$$

$f_1''(0)$ и $f_2''(0)$ – вторые производные от уравнений контуров поперечного сечения взаимодействующих объектов в точке симметрии поверхности контакта;

η_1 и η_2 – коэффициент Пуассона наконечника пневмогидробура и почвы;

B_1 и B_2 – модуль упругости наконечника пневмогидробура и почвы.

Взаимосвязь давления на участке поверхности контакта и равнодействующей внешних сил давления описывается уравнением

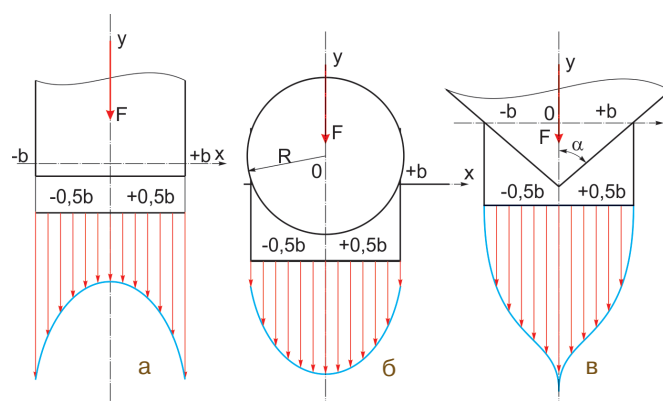


Рис. 1. Схема форм поверхностей взаимодействия, контакта наконечника пневмогидробура с почвой: а – плоская, б – шарообразная, в – коническая

$$F = \int_{-b}^{+b} P(x) dx. \quad (4)$$

Полуширина поверхности контакта b определяется исходя из практического условия давления внешних сил и имеет конечные значения на всех участках поверхности контакта, включая крайние ее точки, что возможно при условии

$$F = k \cdot B^2. \quad (5)$$

Текущее значение полуширины поверхности контакта определяется зависимостью

$$b = \sqrt{\frac{2F(C_1 + C_2)}{f_1''(0) + f_2''(0)}}. \quad (6)$$

Учитывая, что величина модуля деформации для почвы $B_1 = 20 + 5 \cdot 10^2$ несоизмерима по сравнению с модулем деформации наконечника из металла, который равен $B_2 = 2,1 \cdot 10^6$, наконечник можно считать абсолютно жестким, поэтому уравнение контура поверхности почвы при $B = 0$ можно представить в виде полупространства с постоянной ординатой ($y_2 = f_2 = \text{const}$).

Проанализируем распределение давлений на участок поверхности контакта для сечений наконечников элементарной формы (см. рис. 1). Схема взаимодействия наконечника конической формы с почвой и конфигурация распределения сил давления на поверхность почвы представлены на рис. 1в. Распределение давления для наконечника конической формы описывается уравнением

$$F_x^{\text{кон}} = \frac{F}{\pi b} \ln \frac{b - \sqrt{b^2 - x^2}}{|x|}, \quad (7)$$

полуширина контакта равна

$$b = \frac{\pi F C_2}{2k}, \quad (8)$$

При этом максимальное давление формируется у носка конического наконечника и при $x = 0$ стремится к бесконечности.

Взаимодействие шарообразного наконечника радиусом R описывается уравнением

$$x^2 + y^2 = R^2. \quad (9)$$

Проведя двойное дифференцирование уравнения (9) и решив уравнение (1), получим зависимость распреде-

ления давления на участках поверхности контакта шарообразного наконечника с почвой

$$F_x^{up} = \frac{2F}{\pi B^2} \sqrt{b^2 - x^2}, \quad (10)$$

где $b = \sqrt{2FRC_2}$, $F_0 = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{2F}{RC_2}}$.

Максимальное давление формируется в точке первоначального контакта при $x = 0$ и равно

$$F_0^{up} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{2F}{RC_1}}. \quad (11)$$

Поверхность контакта у наконечника с плоской нижней поверхностью ограничена шириной наконечника (рис. 1а), и распределение давления описывается уравнением

$$F_x^{nl} = \frac{F}{\pi \sqrt{b^2 - x^2}}. \quad (12)$$

Из выражения (12) следует, что давление на краях рабочей поверхности наконечника при $x = \pm b$ максимально и стремится к бесконечности.

В реальных условиях рабочие поверхности плоских и конических наконечников имеют закругления, поэтому напряжения в этих точках меняются и решение свободно от бесконечно больших напряжений, при этом характер распределения давления на всех участках поверхностей контакта наконечников с почвой остается аналогичным [13, 14].

Результаты представленных теоретических исследований и аналитических оценок позволяют сформулировать следующие утверждения. Во-первых, процесс трещинообразования в вертикальных слоях почвы

определяется характером распределения давления на участках поверхности контакта с наконечником, поэтому первичные трещины возникают и формируются в точках максимального давления и напряжений. Во-вторых, конический наконечник за счет формирования максимального давления у носка требует меньших усилий и времени для погружения на заданную глубину, формирует большего размера (диаметра) центральную трещину с боковыми ответвлениями, что повышает эффективность и качество рыхления и аэрации слоев почвы импульсами сжатого воздуха и последующей подачи и распределения воды, растворов удобрений, гидрогеля.

На основании анализа информационных ресурсов, моделирования природных процессов жизнедеятельности почвенной мезофауны по аналогии и с учетом результатов экспериментальных исследований разработаны процесс и пневмогидробур для внутрисочвенных рыхления, аэрации сжатым воздухом, орошения и удобрения корнеобитаемых слоев почвы, который работает следующим образом (рис. 2).

Посредством воздействия на полую рукоять 3 ствол 1 с перфорированным наконечником 2 погружают вертикально в почву, при этом подвижный упор 11 с измерительным стержнем 14 поднимается вверх и перемещается вдоль линейки 17 с герконами 18. Под действием магнитного поля магнита 15 (на неподвижном упоре 12) срабатывает геркон, который в данный момент находится в сфере действия магнита. Контакты геркона замыкаются и электрический сигнал поступает в блок управления 8, который при достижении заданной глубины перфорированным наконечником подает сигнал и погружение прекращается. Одновременно при погружении в почву перфорированный наконечник преодолевает силы пенетрации корнеобитаемых слоев почвы (измеряется пенетрометром 9), деформирует упругий элемент тензометрического датчика силы 10 и создает электрический сигнал, величина которого прямо пропорциональна величине силы пенетрации почвы.

В зависимости от величины электрического сигнала блок управления устанавливает посредством воздушного электропневмоклапана 4 частоту и величину давления импульсов сжатого воздуха, которые по шлангу 5, стволу и перфорированному наконечнику поступают в почву, затем блок управления посредством электропневмоклапана жидкости 6 устанавливает величину давления растворов и по шлангу 7, стволу и перфорированному наконечнику осуществляется подача гидрогеля и удобрений непосредственно к корневой системе растений. По окончании обработки пневмогидробур извлекают из почвы, возвратная пружина 13 опускает подвижный упор и измерительный стержень в исходное положение.

Подача сжатого воздуха через перфорированный наконечник позволяет осуществлять внутрисочвенное рыхление, формируя в почве системы каналов и пустот для аэрации и последующего заполнения их водой, растворами удобрений без оборота корнеобитаемых почвенных слоев, повысить продуктивность почвы; максимально



Рис. 2.
Пневмогидробур
внутрисочвенных
рыхления, аэрации
сжатым воздухом,
орошения
и удобрения
корнеобитаемых
слоев почвы

сохранить биологические и экологические параметры при высоком качестве и энергоэффективности процессов обработки почвы, а также поддержке благоприятного для корневой системы растений водно-воздушного и агрохимического режимов и оптимальных условий жизнедеятельности для агроценоза.

Установлено, что посадка виноградников с помощью пневмогидробура обходится в 4 раза дешевле, а приживаемость растений значительно выше. Достоверно установлена высокая эффективность технологии посадки эфиромасличных культур с использованием пневмогидробура и гидрогеля [8]. Результаты исследований технологии внутрипочвенного минерального питания растений яблони с использованием гидрогеля подтвердили эффективность его применения. Прирост центрального и боковых побегов увеличился соответственно на 25-30 и до 40% по сравнению с контролем.

Выводы

1. Сформированы концептуальные подходы по созданию природоподобных технологических процессов и технических систем в соответствии с современными представлениями о продукционных процессах в садоводстве, симбиозе растений и микроорганизмов почвы, оценке факторов, влияющих на процессы деградации и эрозии плодородных слоев земли.

2. Установлена высокая физиологическая целесообразность, адекватно значимая физическая устойчивость и ресурсоэнергоэффективность процессов и технических систем внутрипочвенной обработки, рыхления, аэрации импульсами сжатого воздуха через пневмогидробуры, погружаемые в корнеобитаемые слои почвы без их разрушения с последующим внесением водно-воздушных смесей, гидрогеля непосредственно в корневые системы многолетних насаждений и культур.

3. Разработанные физические процессы и технические системы являются инновационными, защищены семью патентами и позволяют обеспечить значительное повышение эффективности многолетних насаждений и кормовых угодий, которые занимают около 38% сельскохозяйственных угодий страны.

4. Получены эффективные практические результаты и дана положительная оценка возможности и целесообразности применения предлагаемых способов и устройств для внутрипочвенного рыхления, аэрации импульсами сжатого воздуха корнеобитаемых слоев почвы, последующего орошения, удобрения, внесения гидрогеля в садоводстве.

Список использованных источников

1. **Грошева О.А.** Развитие теоретических идей и практических приемов почвозащитного земледелия: отечественный и зарубежный опыт // Успехи современного естествознания. 2021. № 11. С. 13-18. DOI:10.17513/use.37706.
2. **Бородычев В.В., Шевченко В.А., Лытов М.Н.** Концептуальные подходы к оценке и выделению участков неиспользуемых земель для создания проектов органического сельского хозяйства // Новые технологии. 2020. Т. 16. № 6. С. 58-69. DOI:10.47370/2072-0920-16-6-58-69.

3. **Михайлушкин П.В., Алиева А.П.** Органическое земледелие – направление перехода к «зеленой» экономике России // Междунар. с.-х. журнал. 2020. № 2 (374). С. 17-19. DOI:1024411/2587- 6740-2020-12022.

4. **Семиченко Е.В.** Урожайность севооборотов в зависимости от приемов биологизации // Аграрная наука. 2021. № 344 (1). С. 121-124. DOI:10.32634/0869-8155-2021-344-1-121-124.

5. **Новоселов С.И.** Влияние фотохимического воздействия света на подвижность гумусовых веществ и свойств почвы // Агрохимия. 2021. № 12. С. 37-41. DOI:10.31857/50002188121120097.

6. **Гладышева О.В., Свирина В.А., Артюхова О.А.** Влияние разных по интенсивности приемов основной обработки оподзоленного чернозема на состояние плодородия и продуктивность культур // Аграрная наука. 2020. № 7-8. С. 99-102. DOI:10.32634./0869-8155-2020-340-7-99-102.

7. **Мишуров Н.П., Федоренко В.Ф., Аристов Э.Г.** и др. Результаты исследований подпочвенного орошения многолетних эфиромасличных культур с использованием гидрогеля // Техника и оборудование для села. 2022. № 11. С. 11-15. DOI:10.33267/2072-9642-2022-11-11-15.

8. **Черногаев В.Г., Свирина В.А.** Сравнительный анализ эффективности применения различных способов обработки почвы в системе ресурсосберегающих технологий земледелия // Аграрная наука. 2020. № 11-12. С. 105-107. DOI:10.32634/0869-8155-2020-343-11-105-107.

9. **Рзалиев А.С., Голобородько В.П., Чирков А.Г., Солов Ю.В.** Влияние различных способов обработки почвы на ее агрофизические показатели // Междунар. журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013. № 12. С. 105-109. EDN:RTFEVD.

10. **Ялалетдинов Д.А., Рахимов И.Р., Куликова А.П.** и др. Моделирование процессов рыхления почвы сжатым воздухом // Челябинский физ.-мат. журнал. 2024. Т. 9. Вып. 1. С. 160-168. DOI:10.47475/2500-0101-2024-9-1-160-168.

11. **Feklistova P.** Optimization of composition of complex biopreparations for plants yield increasing. Biologically Active Preparations for Plant Growing. 2020. 189-191. EDN: PPNBAA.

12. **Jin H., Zhong Y., Shi D.** et al. Quantifying the impact of tillage measures on the cultivated-layer soil quality in the red soil hilly region: Establishing the thresholds of the minimum data set. Ecological Indicators. 2021. 130:108013. DOI: 10.10165.ecolind.2021.108013.

13. **Young M.D., Ros G., deVries W.** Impacts of agronomic measures on crop, soil, and environmental indicators: A review and synthesis of meta-analysis. Agriculture, Ecosystems & Environment. 2021.319:107551. DOI: 10.1016/j.agee.2021.107551.

14. **He J., Li H., Wang X.** et al. The adoption of annual subsoiling as conservation tillage in dryland maize and wheat cultivation in northern China. Soil and Tillage Research. 2007. 94(2).493-502. DOI: 10.1016/j.still.2006.10.005.

Substantiation of the Parameters of Nature-like Technical Systems for Intra-soil Treatment of Horticultural Plantings

V.F. Fedorenko
(FGBNU FNATS VIM)

Summary. The article presents the results of the study and substantiation of the innovative nature-like physical principles and parameters of technical systems implemented in accordance with modern concepts of plant physiology, production processes in horticulture, based on the concept of symbiosis of plants and soil microorganisms, the paradigm of creating optimal conditions for the preservation and development of the biocenoses formed in the root layers of the soil due to subsoil treatment, loosening, aeration with pulses of compressed air by immersing pneumatic hydrodrills into the soil, subsequent irrigation, application of fertilizers and hydrogel.

Key words: horticulture, root layers of the soil, cultivation, soil, hydrogel, aeration, symbiosis, soil biocenoses, pneumatic hydrodrill.

RSM 161: для сложных хлебов



Зерноуборочный комбайн RSM 161 специально разрабатывался для эффективной работы по сложным агрофонам. В чем преимущества работы этой машины на засоренных или переувлажненных хлебах и где особенно важны его универсальность и производительность? Высокопроизводительный комбайн RSM 161 – уникальная машина, которая первой в модельной линейке компании Ростсельмаш стала оснащаться двухбарабанной системой обмолота.

Комбайн изначально предназначен для больших высокоурожайных полей и позиционируется для работы в сложных условиях. Высокая влажность зерна и соломы, повышенная соломистость, засоренные посевы, трудномолачиваемые культуры – все эти трудности теперь преодолимы благодаря конструктивным особенностям RSM 161.

Итак, ключевое звено качественного обмолота в комбайнах RSM 161 – система TETRA Processor, представля-

ющая собой тандем огромного молотильного барабана $\varnothing 800$ мм и сепаратора $\varnothing 750$ мм, которые обеспечивают огромную площадь обмолота в $3,3 \text{ м}^2$ и сепарации (суммарно $9,4 \text{ м}^2$), при этом с минимальным травмированием зерна и соломы, в том числе на самых сложных агрофонах.

Ширина технологического тракта ($1\,650$ мм) позволяет достигать производительности комбайна до 36 т/ч . К тому же конструкция включает в себя гибкую деку с электронным регулированием зазоров на всем протяжении.

Это позволяет выставлять точные настройки в зависимости от убираемой культуры.

На стадии обмолота и первичной сепарации в тяжелых барабанах МСУ выбивается около 95% зерна. Зерновая масса движется по плавной траектории (обеспечивается площадью сепаратора), что гарантирует бережный вымолот. Всё это позволяет обеспечить качественную сепарацию с минимальным повреждением зерна и соломы даже на самых сложных агрофонах.

Для очистки вороха применяется двухкаскадная система очистки OptiFlow с запатентованной подвеской решетки площадью 7,1 м². Мощный оптимизированный воздушный поток, большая высота перепада и пальцевая решетка на стрясной доске и дополнительном решетке способствуют быстрой и качественной очистке.

Также в этой системе используется двухпоточный турбинный вентилятор, частота вращения которого регулируется из кабины и отображается на панели управления. Настройка решет также проводится из кабины, что позволяет гибко подстраиваться под особенности убираемой культуры. Универсальная форма и увеличенная в 3 раза жесткость гребенок позволяют работать с минимальными потерями на всех видах культур.

Для работы на сложном рельефе в базовую комплектацию комбайна заложена система компенсации продольных уклонов (4D-очистка), что значительно снижает потери при работе на склонах. Для нивелирования потерь на поперечных уклонах опционально ставится система 3D-очистки.

Наклонная камера нового поколения оснащена единым гидроразъемом, имеет увеличенную грузоподъемность для работы с жатками 10,5 м, обеспечивает равномерную подачу хлебной массы на молотильный барабан.

Копирование рельефа поля осуществляется посредством гидроцилиндров в продольном и поперечном направлениях.

На RSM 161 устанавливается мощный экономичный 6-цилиндровый двигатель Weichai WP10 – 400 л.с., который в сочетании с большим топливным баком (1050 л) обеспечивает высокопроизводительную работу без дозаправки почти в две смены.

Вместительный бункер на 10 500 л с вибропобудителями и улучшенной схемой выгрузки опустошается за 2 мин со скоростью 110 л/с.

Кроме того, в базовую комплектацию входят двухскоростной измельчитель-разбрасыватель соломы и активный половоразбрасыватель.

Еще одна интереснейшая инновация (конструкция RSM 161 защищена 22 патентами) – РСМ система оценки возврата на домолот. Она представляет собой совокупность датчиков, по сигналу которых определяется степень загрузки элеватора. Информация отражается на дисплее бортового компьютера и оператор, не выходя из кабины, может оценить корректность текущих настроек обмолота и очистки, а также предупредить забивание колосового элеватора и домолочивающего устройства.

Высокопроизводительный, универсальный, гибкий в настройках комбайн RSM 161 с успехом эксплуатируется практически во всех зерносеющих регионах Российской Федерации на уборке колосовых, бобовых, масличных, крупяных и пропашных культур. Его выбирают предприятия, имеющие проблемы с влажным зерном, и все те, кто хочет с успехом преодолевать трудности уборки. При способности обрабатывать до 2000 га за сезон такая машина подойдет сельхозпроизводителям, имеющим большие площади посевов.



УДК 004.9:332.1(075.8)

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-11-8-12

К вопросу определения площади пятна контакта шин тракторов и сельскохозяйственных машин

В.Ю. Ревенко,канд. техн. наук, вед. науч. сотр.,
skskniish@rambler.ru**В.Н. Трубицын,**науч. сотр.,
viktor_knii@mail.ru**Н.В. Трубицын,**канд. техн. наук, вед. науч. сотр., зав. лабораторией,
trubicin@yandex.ru
(Новокубанский филиал ФГБНУ «Росинформагротех»
[КубНИИТиМ])**М.В. Дулясова,**канд. техн. наук, д-р экон. наук, проф.,
врио директора
(ФГБНУ «Росинформагротех»)

Аннотация. Приведены результаты анализа способов определения площади пятна контакта шин тракторов и сельскохозяйственных машин, обоснована необходимость разработки нового метода и технического средства для ее определения.

Ключевые слова: тракторы, сельхозмашины, давление на почву, шина, протектор, пятно контакта, грунтозацеп.

Постановка проблемы

С повышением энергонасыщенности и многофункциональности современной сельскохозяйственной техники ее производителям приходится постоянно проводить работы по снижению удельного давления колесных систем машин на почву. Для решения указанной проблемы есть два пути эволюции конструкции сельскохозяйственной техники: снижение нагрузки на ось колеса за счет уменьшения массы техники путем внедрения в её конструкцию более современных материалов (легированные стали, полимерные материалы и др.); увеличение площади пятна контакта шины с поверхностью почвы.

В первом случае процесс идет крайне медленно и является весьма затратным. Во-втором – задача решается более быстрыми темпами, но и здесь имеются свои «подводные камни». Увеличение площади пятна контакта сельскохозяйственных шин напрямую связано с увеличением их размера, однако на этот параметр накладываются ограничения, предъявляемые к современной технике, которой приходится передвигаться по дорогам общего пользования, что вступает в конфликт с требованиями по снижению давления на почву и уменьшения ее уплотнения.

Первоначально революционный переход от диагональных шин к радиальным (более эластичным) способствовал значительному увеличению размера площади контакта шины с поверхностью, а соответственно, снижению удельного давления ходовых органов техники на почву. Далее

процесс замедлился, и только использование передовых разработок в области конструирования и производства шин позволило применять резинокордные оболочки с более высокой несущей способностью при низком давлении внутри шин, что, в свою очередь, привело к увеличению площади соприкосновения с почвой. Использование новых разработок уменьшило не только давление на почву, но и буксование колесных систем, сопротивление качению, оптимально распределив напряжения в зоне контакта протектора с грунтовым основанием.

Для проведения сравнительных оценок шин различных моделей необходимо знать точные размер и форму площади их контакта с грунтом. Для этих целей в различных странах используются самые разные методики и аппаратные средства. При этом следует отметить, что измеренная тем или иным методом площадь контакта не дает точной информации о её реальном значении, а является лишь приблизительной мерой оценки, пригодной для сравнения. Многие из методик можно рассматривать только как хороший прогноз, поскольку в некоторых случаях площадь измеряется с высокой степенью погрешности.

Определение действительного размера контурной площади контакта шин при определенной вертикальной нагрузке на ось колеса и заданной величине давления воздуха в шине – важная и актуальная задача. Автоматизация этого процесса весьма востребована как производителями современной сельскохозяйственной техники, так и её разработчиками и испытателями (в системе машиноиспытательных станций).

Цель исследования – анализ существующих методов оценки контурной площади пятна контакта шин с опорной поверхностью для выявления технологии, позволяющей автоматизировать определение площади контакта и вертикальной нагрузки на колесо.

Материалы и методы исследования

В результате проведённого анализа методов и средств было выбрано несколько направлений, наиболее полно отображающих предлагаемые и существующие способы определения площади пятна контакта шин различных видов техники, включая тракторы и сельскохозяйственные машины в России и за рубежом.

Методика определения данного показателя ранее регламентировалась ГОСТ 7057-81, в котором был детально описан способ определения контурной площади контакта шины через создание отпечатка, получаемого при многократном опускании, подъеме и проворачивании на ширину грунтозацепа колеса с окрашенным протектором на лист металла до момента полного заполнения

отпечатка. В более поздней редакции данного стандарта (ГОСТ 7057-2001) методика определения контурной площади контакта протектора с опорой полностью отсутствует. Данный пробел был восполнен лишь после недавнего выхода ГОСТ Р 58656-2019 «Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву», который воспроизводит методику получения контурного отпечатка, изложенную в стандарте 1981 г., дополнив её более современной технологией измерения площади отпечатка: «... значение контурной площади протектора колеса определяют путем фотографирования отпечатка цифровой камерой с наложенной на него масштабной квадратной фигурой площадью 0,01 м². Полученный снимок обрабатывают с помощью компьютерных программ для автоматического проектирования, в которых имеется командная опция "измерения; определение площади произвольной фигуры"».

Стандартный метод определения контурной площади отпечатка шины довольно трудоемок, при этом во многих случаях отпечаток получается с нечеткими границами. Кроме того, метод абсолютно неприемлем для тракторов и техники с автоматической коробкой передач. Провернуть шину на угол, равный ширине грунтозацепа, вручную невозможно (все колеса автоматически заторможены), а запускать двигатель трактора, поднятого на домкратах, с последующим включением передачи для прокручивания колеса небезопасно.

Результаты исследований и обсуждение

Для повышения точности измерений опорной площади колеса была разработана измерительная система (ИС) определения пятна контакта шин с деформируемым или жестким опорным основанием за счет применения кнопочных выключателей 3, устанавливаемых в протектор 1 [1]. В краевой зоне грунтозацепа кнопки устанавливают чаще, от поврежденных их защищает резиновая накладка 4 (рис. 1). В экваториальной зоне устанавливают масштабные датчики, расстояние между которыми равно шагу грунтозацепов ($l = t$) (рис. 2).

Метод обеспечивает возможность измерения площади пятна контакта движущегося колеса тракторной или другой техники, в том числе оснащенной автоматической коробкой передач. Недостатки – форма и размеры отпечатка шин, полученные в статике и при качении, в известной степени разнятся; на мягких грунтах происходит нечеткое срабатывание кнопочного датчика, что приводит к искажению длины пути, на котором каждый из контактов находится в замкнутом состоянии, следовательно, появляется еще большая погрешность при определении площади контакта.

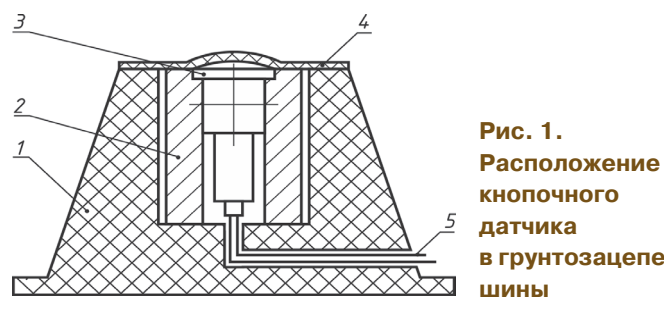


Рис. 1. Расположение кнопочного датчика в грунтозацепе шины

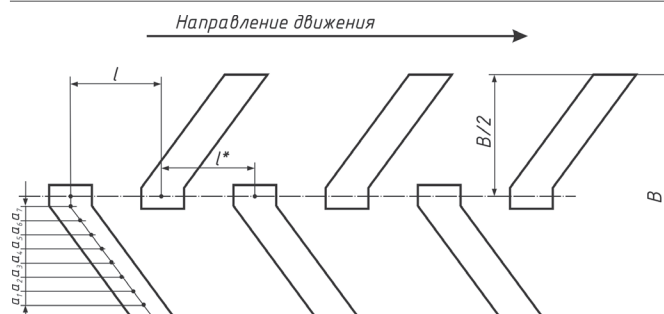


Рис. 2. Схема установки датчиков в протектор

Румынские исследователи пошли по противоположному пути, встроив чувствительные сенсоры в асфальтовое покрытие (рис. 3) для определения длины пятна контакта шин грузовых автомобилей [2].

Метод позволяет определить форму и площадь пятна контакта колеса с жесткой опорой при движении испытуемого объекта на различных скоростях, дополнительная функция – регистрация величины нормальных и тангенциальных напряжений, возникающих в зоне соприкосновения «протектор-опора». Недостатки метода – невозможность проведения статических измерений (колесо должно обязательно катиться), а также узконаправленное использование ИС: шины транспортных средств и сельхозорудий, у которых отсутствуют грунтозацепы.

Установка датчиков не только поперек линии движения колеса, но и вдоль нее существенно расширяет функциональные возможности рассмотренных ИС. Измерение контактных напряжений с помощью планшетной системы датчиков, называемой исследователями из ЮАР системой «Напряжение в движении» (SIM), состоит из множества стальных штифтов, а также набора тензометрических датчиков (рис. 4) [3].

Каждая из линеек датчиков состоит из 21 полого цилиндрического штифта конической формы, линейно расположенных поперек устройства SIM. Площадь контакта штифтов с поверх-

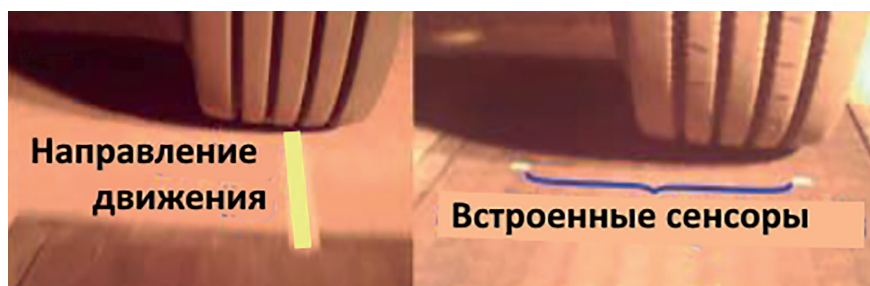


Рис. 3. Общий вид сенсора (слева) и схема установки сенсорной линейки в дорожное полотно (справа)

ностью составляет приблизительно 94 мм^2 ($\varnothing 9,7 \text{ мм}$) при фиксированном поперечном разрешении 17 мм в поперечном направлении. Каждый штифт состоит из пятиосевого тензодатчика, откалиброванного по высокоточному миниатюрному тензоэлементу. Такая конфигурация секций SIM (ширина 350 мм , длина 750 мм) обеспечивает текстурированную измерительную поверхность со значениями трения, приближенными к значениям трения сухого асфальтового покрытия.

К преимуществам данной ИС можно отнести возможность оценивать контактные напряжения и проводить измерения в статике (при неподвижном колесе) и динамике. Недостатки – дискретизация процесса измерений, обусловленная размерами каждого из измерительных штифтов ($\varnothing 9,7 \text{ мм}$). Последние поколения измерительных систем секционного типа для оценки формы и площади контактной поверхности шин с опорным основанием (например, «Тескап») имеют более приемлемое разрешение – $1\text{--}3 \text{ мм}$.

Основной недостаток таких ИС – невозможность применения для шин сельскохозяйственного назначения с высокими грунтозацепами, т.е. ведущие колеса тракторов, комбайнов и др.

Еще один широко распространенный в автомобильной промышленности способ оценки формы и площади контакта шины с опорным основанием – скоростная съемка колеса, движущегося по прозрачной поверхности с помощью специальной видеокамеры высокого разрешения или оптических датчиков [4]. Пример такого устройства показан на рис. 5.

Метод разработан для оценки динамики перемещений различных частей протектора шины на границе раздела «грунт-шина», основан на преломлении и отражении света жесткой прозрачной поверхностью. Технология приспособлена для проведения динамических измерений в режиме реального времени. Снимающая процесс цифровая камера GoPro Hero 5 расположена под центром стеклянной пластины и позволяет записывать видео процесса перемещения колес. Специальная ПЗС-камера обеспечивает получение яркого изображения, формируемого через стеклянную пластину. Основным недостатком ИС – колесные движители с грунтозацепами на подобных стендах не испытываются.

Помимо методов прямого измерения площади контакта шины с опорным основанием существуют и косвенные, основное назначение которых – исследование и изучение механизмов сопротивления качению с помощью системы измерений деформации элементов вращающейся резинокордной оболочки. Изучая закономерности деформации

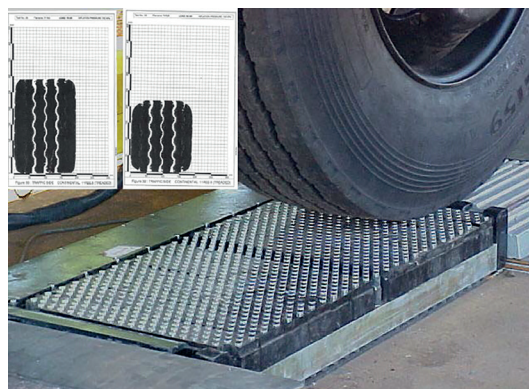


Рис. 4. Процесс измерения и диаграмма контактных напряжений

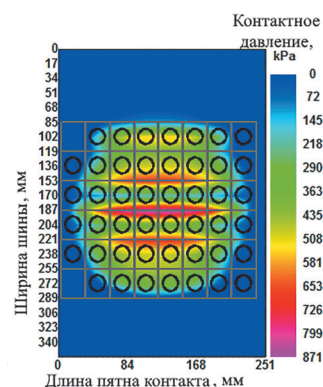


Рис. 5. Стенд для получения пятна контакта колеса и его монохромное изображение



боковых стенок, плечевых зон, протектора, измеряя радиус качения колеса, можно в режиме реального времени оценивать в динамике и контактную поверхность шины с опорой. Бесконтактный метод измерения с использованием системы оптических датчиков может работать в самых жестких условиях, не влияя на локальную деформацию [5].

Деформация шины при качении измеряется двумя лазерными триангуляционными датчиками; лазерным датчиком 1 (Keyence LJ-V7300) – двумерный лазерный профилометр со сверхвысокой частотой дискретизации и большим диапазоном измерений и лазерным датчиком 2 (Keyence LK-H150), которые синхронизированы с углом поворота колеса (рис. 6). Для измерения углового положения двумерного лазерного профилометра использовался оптический энкодер (2048 отсчетов на оборот) в блоке с контактным кольцом (Michigan Scientific SR 20AW/T1024). Кроме того, датчик 2 применялся для измерения динамического радиуса нагруженного колеса и дополнительных измерений (высота боковой стенки, положение датчика по окружности, размеры пятна контакта) – рис. 7.

К достоинствам данного метода можно отнести возможность определения размеров контактирующей поверхности в динамике, а также измерения любых типов шин, в том числе с высокими грунтозацепами. Недостаток – низкая точность полученных результатов, так как измеряется условное пятно контакта, образованное внутренней поверхностью шины. Истинное значение площади контакта наружной части протектора с дорожным полотном будет существенно больше.

Примерно те же недостатки присутствуют и в других косвенных способах измерения площади пятна контакта шины с опорным основанием. Так, в патенте на изобретение WO2016096662 МПК В60С11/24 предлагается производить расчет площади пятна контакта шины по месту и времени прохождения давления шины между двумя точками с определенной скоростью (рис. 8). Вычисление площади отпечатка производится косвенным путем, на основании измеренного времени и скорости прохождения колеса по поверхности устройства.

В патенте на изобретение WO2022232520 МПК В60С23/06 описана портативная система для измерения одного или нескольких параметров пятна контакта между шиной и поверхностью (рис. 9). Система может быть сконфигурирована с массивом датчиков, которые съемно закрепляют на поверхности секции. Датчики оценивают один или несколько параметров пятна контакта. Кроме того, система может включать в себя сканер, предназначенный для интерпретации измерений, полученных от массива датчиков в виде данных, и хранения информации.

Измерительная система с датчиками силы предназначена для измерения динамического пятна контакта шины. Она состоит из тонкой и гибкой майларовой полосы, сконфигурированной для установки на реальное или имитируемое дорожное полотно, и массива пьезорезисторных датчиков 1×128 , установленных на полосе. Массив датчиков может также включать в себя корпус, прикрепленный к майларовой полосе, со сканирующей и записывающей электронной аппаратурой, которая взаимодействует с датчиками.

Недостатком как этого устройства, так и предыдущего является то, что с их помощью можно определить только длину пятна контакта либо рассчитать его площадь, полученную в результате взаимодействия поверхности грунтозацепов с опорой. При этом пространство, находящееся между грунтозацепами, не учитывается, т.е. данные измерительные устройства и методы неприемлемы для ведущих шин тракторов и комбайнов.

Примером другой крайности может служить метод измерения размеров пятна контакта сельскохозяйственных шин с грунтозацепами, предложенный иранскими исследователями [6]. Технология измерений, основанная на принципах обработки цифровых изображений, предусматривает использование одноколесного тестера и в полной мере учитывает упруго-пластичные характеристики грунтовой среды. Исследователями был применен новый метод расчета контактного давления с использованием порошка белого цвета для улучшения качества обработки изображений на границе раздела «грунт-шина». Размеры отпечатка, длина и ширина контакта были определены с помощью команды «imdistline» в программном обеспечении MATLAB.

Результаты измерений и этапы их проведения представлены на рис. 10. Площадь отпечатка оказалась существенно ниже той, которая была бы получена в соответствии со стандартизированной методикой (ГОСТ Р 58656-2019), так как в ней не учитывались отпечатки грунтозацепов во впадинах протектора.

Проведенный анализ существующих методов и алгоритмов определения размерных параметров пятна контакта

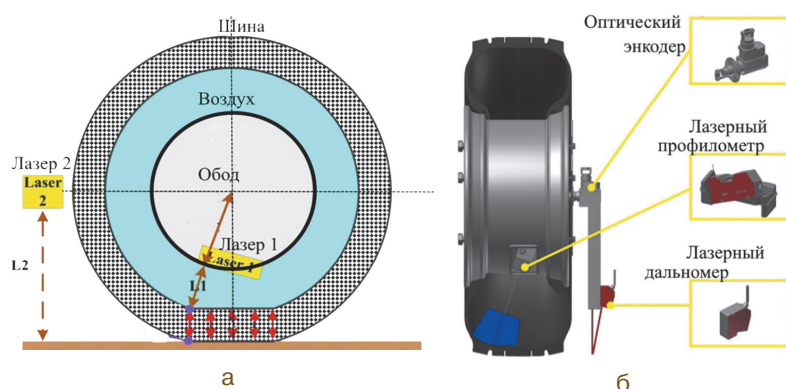


Рис. 6. Алгоритм процесса измерения (а), расположение системы лазерных датчиков (б)

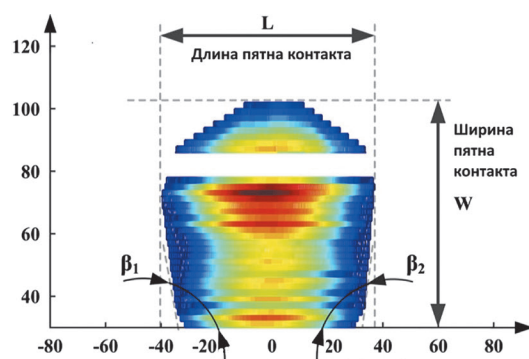


Рис. 7. Форма и размеры полученного с использованием лазерных технологий пятна контакта

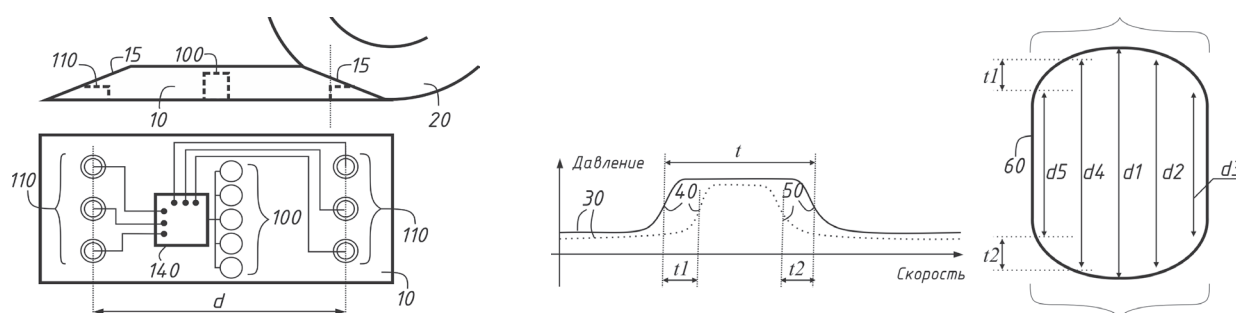


Рис. 8. Устройство определения пятна контакта (патент WO2016096662)

Рис. 9.
Контактный датчик протектора шины

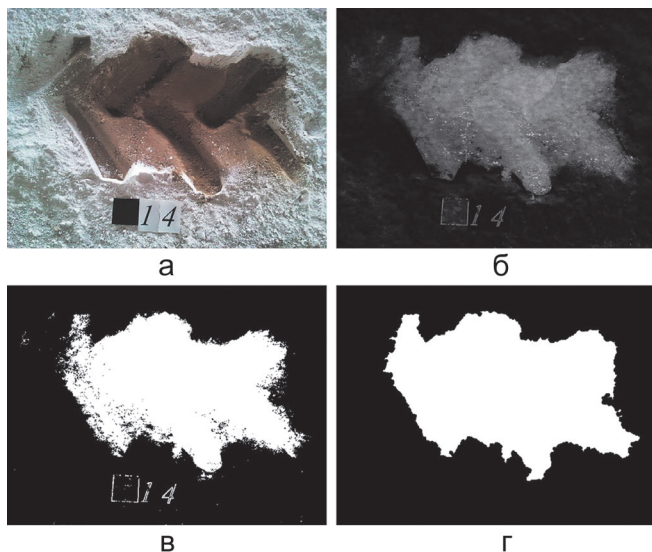
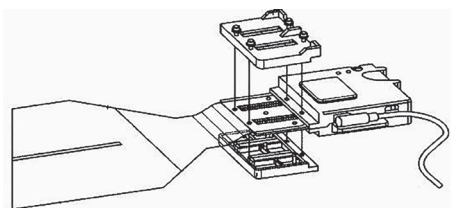


Рис. 10. Процедура преобразования полученного изображения в монохромное:

- а – исходное изображение;
б – разделение следа шины и фона с помощью «гамма-преобразования»;
в – расширение структурными элементами;
г – результирующий монохромный отпечаток

шин с опорной поверхностью позволяет сделать вывод, что подавляющее большинство из них применимо только для шин, у которых отсутствуют грунтозацепы. Задачи этих шин – обеспечивать наилучшее сцепление с твердым покрытием или катиться с наименьшим сопротивлением качению по мягким грунтам (шины сельхозорудий, транспортных тележек, ведомые колеса сельскохозяйственных машин, комбайнов, тракторов).

Для ведущих колес сельскохозяйственной техники, имеющей развитые грунтозацепы для наилучшего сцепления с рыхлой почвой, необходимо использовать другие методы оценки поверхности в системе «шина-грунт», так как в упруго-пластичной грунтовой среде взаимодействуют не только поверхности грунтозацепов, но и часть протектора, которая расположена между ними. В расчетах важно учитывать не только площадь контактирующей с опорой поверхности грунтозацепов, но и площадь, находящуюся между ними, что и предусмотрено ГОСТ Р 58656-2019, алгоритм которого более полно соответствует процессу взаимодействия системы «сельхозшина - грунт», но он неприменим для техники, оснащенной автоматической трансмиссией.

Недостатки стандартизированной методики, а также потребность в автоматизации процесса измерений обусловили необходимость разработки в КубНИИТиМе эксперименталь-

ной информационно-измерительной системы (инициирован процесс патентования разработки в ФИПС), в основе которой лежит органичное сочетание принципов использования планшетной системы тензометрических датчиков и методов определения площади контакта шины с грунтом, учитывающих упруго-пластичные характеристики грунтовой среды.

Выводы

1. Анализ представленного материала дает основания для вывода, что ни один из описанных методов не позволяет провести полноценную достоверную оценку воздействия колес тракторов и сельскохозяйственных машин на почву. Способ определения площади пятна контакта шины, описанный в ГОСТ Р 58656-2019, дает только ответ на вопрос, какую форму и площадь имеет условное контурное пятно контакта шины с жестким опорным основанием?

2. При определении площади пятна контакта не учитывается тот факт, что усилия, передаваемые на почву грунтозацепами, будут существенно отличаться от передаваемых частью протектора, находящейся между ними, что приводит к недостоверности определения уровня воздействия колесных движителей на почву.

3. Необходимо создать устройство, которое позволит более корректно определить площадь пятна контакта шины, а также достоверно оценить распределение нормальных контактных напряжений по площади отпечатка.

Список использованных источников

1. Русанов В.А. Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения. М.: ВИМ, 1998. 368 с.
2. Anghelache G. & Moisesescu R. Measurement of stress distributions in truck tyre contact patch in real rolling conditions // Vehicle System Dynamics. 50(12). 2012. P. 1747-1760. <https://doi.org/10.1080/00423114.2012.674143>.
3. De Beer M., Maina J.W., Rensburg Y., Greben J.M. Toward Using Tire-Road Contact Stresses in Pavement Design and Analysis // Tire Science and Technology, TSTCA. Vol. 40, No. 4. October-December 2012. P. 246-271. 10.2346/tire.12.400403.
4. Chen Xiangtong. Tire Footprint Analysis Based on Image Processing Techniques. Doctoral dissertation, Virginia Tech. 2020. <https://vtechworks.lib.vt.edu/items/a8780af2-b535-4b57-bdfa-918933cb68a8>.
5. Xiong Yi, Tuononen Ari. Rolling deformation of truck tires: Measurement and analysis using a tire sensing approach // Journal of Terramechanics. 61. 2015. P. 33-42. 10.1016/j.jterra.2015.07.004.
6. Teimourlou R.F., Taghavifar H. Determination of the Super-Elliptic Shape of Tire-Soil Contact Area Using Image Processing Method // Cercetari Agronomice in Moldova. 48(2). 2015. P. 5-14. doi:10.1515/cerce-2015-002.

Determining the Contact Patch Area of Tires of Tractors and Agricultural Machinery

V.Yu. Revenko, V.N. Trubitsyn, N.V. Trubitsyn

(Novokubansk branch of the FGBNU "Rosinformagrotech" [KubNIITiM])

M.V. Dulyasova (FGBNU "Rosinformagrotech")

Summary. The results of the analysis of the existing methods of determining the contact patch area of the tractor and agricultural machinery tires are presented, the need to develop a new method and technical means for determining the contact patch area is substantiated.

Keywords: tractors, agricultural machinery, soil pressure, tire, tread, contact patch, lug.

УДК 629.053

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-11-13-16

Новый метод определения траектории движения беспилотной самоходной машины сельскохозяйственного назначения

О.Н. Дидманидзе,

акад. РАН, д-р техн. наук, зав. кафедрой,
didmanidze@rgau-msha.ru
(ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева);

И.М. Ажмухамедов,

д-р техн. наук, декан,
iskander_agm@mail.ru
(ФГБОУ ВО Астраханский ГУ имени В.Н. Татищева);

А.В. Меликов,

канд. техн. наук, директор технологического колледжа,
melikov@rgau-msha.ru

О.Г. Билич,

аспирант,
ogbilich@yandex.ru
(ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева)

Аннотация. Рассмотрен метод определения траектории движения беспилотной самоходной машины, основанный на использовании параметров траектории, начальной и конечной скорости технического средства, которые позволяют проводить переоценку тангенциальной скорости машины и ее пространственной ориентации в реальном времени. Представлены порядок действий по определению скорости движения технического средства и оптимальной по времени траектории, результаты эксперимента по формированию траектории движения беспилотной самоходной машины.

Ключевые слова: беспилотная самоходная машина, траектория движения, кусочно-линейная аппроксимация, сплайн Безье, тангенциальное ускорение.

Постановка проблемы

В условиях интенсификации сельскохозяйственного производства с учетом новых технических средств и тенденций развития беспилотных технологий количество автономных машин с каждым годом увеличивается. Однако решение задач синтеза, планирования и реализации траектории движения беспилотных самоходных машин сельскохозяйственного назначения (в отличие от промышленных) осуществляется с учетом требований экологического менеджмента [1-3].

В настоящее время общим методом построения траектории является сплайн-интерполяция, заключающаяся в использовании общих полиномов и определении факторов, обеспечивающих непрерывность в точках соединения [4]. Специальные задачи, объем имеющихся

данных и предварительные требования исследователя определяются выбором порядка полиномов, который должен основываться на экспериментах и анализе данных. Например, управление технологическим процессом, соответствующим первой производной, коррелирует с результирующим параметром машины (геометрический параметр транспортного средства) и его линейной скоростью, осуществляется с помощью полиномов второго порядка.

Известно, что простые многочлены можно использовать для расчета коэффициентов, определяющих начальную и конечную точки положения тела. Для определения начальных и конечных условий положения беспилотной самоходной машины сельскохозяйственного назначения рекомендуется использовать кривую Безье, содержащую подходящий набор параметров [5]. Таким образом, математическое описание кривой Безье является основой для использования метода определения траектории движения машины.

Метод основан на использовании параметров траектории, начальной и конечной скорости технического средства, которые позволяют проводить переоценку тангенциальной скорости машины и ее пространственной ориентации в реальном времени. Показан порядок действий для построения оптимальной траектории с временным интервалом на основе заданного набора точек в соответствии с кинематическими ограничениями машины (кривые Безье). Причем набор точек, на основе которых формируется траектория, может быть составной частью другого набора точек; другими словами, может являться промежуточными точками, обеспечивающими последующую обработку кратчайшего пути к необходимой целевой позиции.

Цель исследования – упрощение процесса оптимизации траектории движения беспилотной самоходной машины сельскохозяйственного назначения путем вычисления только граничных значений ограничений, используя поиск корней и оценку полиномов.

Материалы и методы исследования

В современных беспилотных самоходных машинах необходимо использовать настраиваемые датчики, поэтому внимание акцентировали на свойствах электромагнитного датчика [6], для повышения чувствительности и точности который следует настроить на определенный резонанс-

ный режим. С помощью программы, созданной на языке программирования Delphi 10.4.2 Sydney (версия среды разработки, выпущенная 24 февраля 2021 г.), которая работает во всех версиях операционной системы Windows, можно переключить датчик в резонансный режим, изменив только требуемые параметры.

В ходе исследования были выявлены и основные факторы, вызывающие вибрацию в электродвигателях. Проводилось повторное исследование спектральных характеристик вибрационных сигналов, в основу которого заложено искусственное проявление эксцентриситета ротора двигателя, вызывающего повышенную вибрацию.

В исследованиях использовали и шаговые двигатели [7]. По сложившемуся мнению, шаговые двигатели повышают точность управления вращающимися механизмами. В исследовании двигатели находились в неподвижном положении [6-8].

Контроллер траектории [6] используется для перемещения беспилотной самоходной машины. Его уникальная особенность заключается в том, что он учитывает результаты анализа динамики ошибок для определения начальной скорости технического средства, что позволяет минимизировать отклонение беспилотной самоходной машины от заданной траектории. Следует отметить, что динамические ограничения технического средства уже должны быть включены в траекторию его движения.

Результаты исследований и обсуждение

Предполагается, что беспилотной самоходной машине сельскохозяйственного назначения необходимо пересечь некоторый упорядоченный набор точек, представленный $X = [X_0, X_1, \dots, X_n]$, где $n \in \mathbb{Z}_+$ и $X_i \in \mathbb{R}^2, \forall i \in [0, n]$, а X_0 является исходным положением технического средства. Полиномы третьей степени являются компонентами его траектории движения, которая представляется двумерной функцией переменной времени. Следовательно, при такой постановке задачи требуется непрерывность до первой производной, чтобы обеспечить один из опорных векторов скорости беспилотной самоходной машины.

Очевидно, что для каждой точки необходимо задавать как скорость, так и временной интервал. Значения этих параметров также нужны и для построения сплайн-интерполяции – полиномов третьей степени [8]. По этой причине в этой части исследования учитываются следующие параметры: векторы тангенциального ускорения $V_i \in \mathbb{R}^2$ и моменты времени $t_i \in \mathbb{R}_+, t_i > t_{i-1}$. Начальное время $t_i = 0$ совпадает с моментом времени t_0 , а вектор начальной скорости беспилотной самоходной машины $V_n = 0$ – со скоростью V_0 .

Следовательно, для того чтобы связать эти точки, необходимо определить функцию прогнозирования траектории $T(t) = [x_r(t), y_r(t)]^T$, причем $t \in [t_0, t_n]$, $T(t_i) = X_i$ и $T^{(1)}(t_i) = V_i$. Представляя сегменты сплайна как $T_j(t) = [x_{rj}(t), y_{rj}(t)]^T, c j \in [0, m], m = n - 1$, общая функция прогнозирования траектории математически описывается следующим образом:

$$T(t) = \begin{cases} T_0(t), t_0 \leq t \leq t_1, \\ \dots \\ T_j(t), t_j \leq t \leq t_{j+1}, \\ \dots \\ T_m(t), t_m \leq t \leq t_n. \end{cases}$$

Далее следует провести первичную оценку соответствующей длительности dt_j для каждого сегмента сплайна с учетом динамических ограничений беспилотной самоходной машины сельскохозяйственного назначения. С целью минимизации времени расчетов предлагается использовать метод математической оптимизации для задач с ограничениями по каждому сегменту. Применение этого метода неизбежно приведет к извлечению необходимой дополнительной информации из траектории движения технического средства. Затем требуется определить начальную линейную скорость и пространственную ориентацию беспилотной самоходной машины, которые можно рассчитать соответственно по формулам

$$v_r(t) = \sqrt{\dot{x}^2(t) + \dot{y}^2(t)}, \quad (1)$$

$$\theta_r(t) = \arctan_2(\dot{y}(t), \dot{x}(t)). \quad (2)$$

Взяв производную (2), можно определить опорную угловую скорость $\omega_{r(t)}$:

$$\omega_{r(t)} = \theta_r(t) = \frac{\dot{x}_r(t) \ddot{y}_r(t) - \dot{y}_r(t) \ddot{x}_r(t)}{\dot{x}_r^2(t) + \dot{y}_r^2(t)}. \quad (3)$$

Для расчетов траектории движения самоходной беспилотной машины потребуются значения линейного ускорения $a(t) = \dot{v}(t)$, углового ускорения $\alpha(t) = \dot{\omega}(t)$, их производные первого порядка $\dot{a}(t)$ и $\dot{\alpha}(t)$ соответственно. Таким образом, остается определить все производные кривой Безье. Кубические кривые Безье соответствуют форме

$$B(\lambda) = (1 - \lambda)^3 P_0 + 3 \cdot (1 - \lambda)^2 \cdot \lambda P_1 + 3 \cdot (1 - \lambda) \cdot \lambda^2 P_2 + \lambda^3 P_3, \quad (4)$$

где $P_i \in \mathbb{R}, i \in \{0, 1, 2, 3\}$ – контрольные точки, а $\lambda \in [0, 1]$ – параметр кривой. Полиномиальная функция описывается следующим образом:

$$B(\lambda) = \begin{bmatrix} P_3 - 3P_2 + 3P_1 - P_0 \\ 3 \cdot (P_2 - 2P_1 + P_0) \\ 3 \cdot (P_1 - P_0) \\ P_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \lambda^3 \\ \lambda^2 \\ \lambda \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Из выражения (5) необходимо взять первую, вторую, третью и четвертую производные [7].

Чтобы определить каждый сегмент траектории, обозначенный через T_j , следует знать начальную и определить конечную скорость V_{j+1} движения беспилотной самоходной машины. Определив начальную скорость

как $V_0 = 0$, можно заменить ее на $V_0 = \alpha_a T_s \angle \Theta_0$, чтобы явно указать начальное направление движения технического средства, обеспечивая при этом приемлемое значение его скорости. Определение желаемого направления Θ_{j+1} является первым шагом при выборе скорости движения машины. Выбранное направление должно быть нацелено к следующей точке X_{j+2} .

Следует отметить, что алгоритм расчета траектории беспилотной самоходной машины сельскохозяйственного назначения не должен меняться даже в случае неизбежных резких отклонений в пространственной ориентации технического средства от нормального (выбранного) пути его движения. Вторым шагом при выборе скорости движения машины является определение вектора нормального пути $r_j = X_{j+1} - X_j$ (рис. 1) в дополнение к выбору желаемого направления $\Theta_{j+1} = \angle(r_j + r_{j+1})$. Аналогично определяется $\Theta_{m+1} = \angle r_m + d\theta_{m,s}$, что приводит к $\Theta_n = 2\angle r_m + \Theta_m$.

Третьим шагом при выборе скорости движения машины является определение максимально допустимой скорости движения технического средства по формуле

$$v_{a,j} = \min \left(v_{\max}, \min \left(\frac{\alpha_a \|r_j\|}{v_{\max}}, \frac{\alpha_d \|r_{j+1}\|}{v_{\max}} \right) \right). \quad (6)$$

Следующий момент, который следует учитывать при выборе скорости движения машины, – определение фактора, ограничивающего скорость в силу появления погреш-

ностей (искажений) пространственной ориентации технического средства. Этот фактор можно определить как

$$f_j = (1 - \xi \sin^2 d\theta_{j,\varepsilon}) \cdot \cos^2 d\theta_{j,s}, \quad (7)$$

причем $d\theta_{j,s} = \Theta_j - \angle r_j$, $d\theta_{j,\varepsilon} = \angle r_j - \Theta_{j+1}$ и $\xi \in (0,1)$. Заключительным шагом является определение скорости движения машины: $V_{j+1} = f_j \cdot v_{a,j} \angle \Theta_{j+1}$.

Для определения длительности участков траектории необходимо воспользоваться их полиномиальной природой и сформировать информацию о пути в виде рациональных функций. Отсюда эталонная линейная скорость равна

$$v(t) = \sqrt{\dot{x}_r^2(t) + \dot{y}_r^2(t)} = \sqrt{v_r(t)}, \quad (8)$$

начальные значения угловой скорости:

$$\omega(t) = \frac{\dot{x}_r(t) \cdot \ddot{y}_r(t) - \dot{y}_r(t) \cdot \ddot{x}_r(t)}{v^2(t)} = \frac{\omega_r(t)}{v^2(t)}, \quad (9)$$

тангенциальное и угловое ускорение:

$$a(t) = \dot{v}(t) = \frac{a_r(t)}{v(t)}, \alpha(t) = \dot{\omega}(t) = \frac{a_r(t)}{v^4(t)}. \quad (10)$$

Уравнения (8)-(10) справедливы как для всей траектории движения беспилотной самоходной машины сельскохозяйственного назначения, так и для каждого отдельного участка пути. Теперь можно сформулировать ограничения по скорости и ускорению относительно рассматриваемого параметра dt_j .

Определить минимальное значение, удовлетворяющее динамическим константам, можно, решив задачу оптимизации с использованием указанного значения в качестве начального условия. Для эксперимента была использована физическая модель беспилотной самоходной машины сельскохозяйственного назначения, представленная на рис. 2.

В этом опыте применялся энкодер (преобразователь угловых перемещений) для определения местоположения технического средства и его ориентации в пространстве. Результаты эксперимента представлены в таблице.

Значения промежуточных и контрольных точек траектории движения беспилотной самоходной машины сельскохозяйственного назначения

X	x[m]	y[m]	X	x[m]	y[m]
1	0.30	0.20	7	2.93	0.00
2	1.19	2.10	8	3.16	-0.63
3	1.69	0.00	9	3.38	0.00
4	2.07	-1.45	10	3.58	0.31
5	2.39	0.00	11	3.77	0.00
6	2.67	1.00	12	4.00	0.00

Очевидно, что начальное положение в пространстве беспилотной самоходной машины $\Theta_0 = 0 \text{ rad}$, а ее начальное значение тангенциальной скорости – 0 м/с. Интервал длительности участков траектории

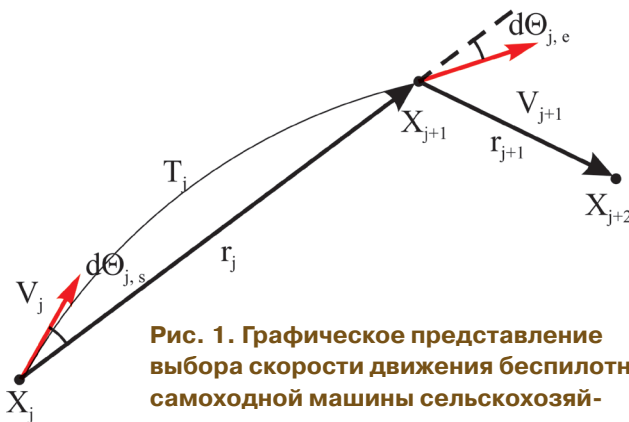


Рис. 1. Графическое представление выбора скорости движения беспилотной самоходной машины сельскохозяйственного назначения

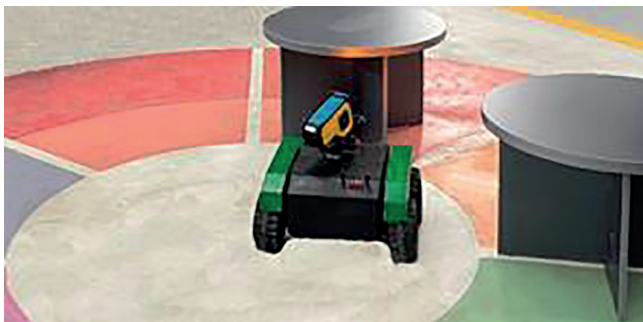


Рис. 2. Физическая модель беспилотной самоходной машины сельхозназначения

технического средства равен $Ts \approx 100$ мс, активные ограничения:

$$v(t) \in [0, 0.35] \frac{m}{s}, a(t) \in [-0.1, 0.1] \frac{m}{s^2}, \\ \omega(t) \in [-30, 30] \frac{deg}{s} \text{ and } \alpha(t) \in [-50, 20] \frac{deg}{s^2}, \xi = 0.6 \text{ и } g = 30.$$

Ошибку пространственной ориентации технического средства можно рассчитать по формуле

$$e = \sqrt{(x_{r,k} - x_k)^2 + (y_{r,k} - y_k)^2}. \quad (11)$$

Согласно формуле (11), ошибка пространственной ориентации машины (в среднем) составила 2,12 см, максимальное отклонение – 5,34 см. Тем не менее благодаря отслеживанию ошибок пространственной ориентации техническое средство плавно придерживается заданной траектории. На рис. 3 представлена эталонная траектория движения беспилотной самоходной машины сельскохозяйственного назначения с отклонениями, полученными в результате эксперимента.

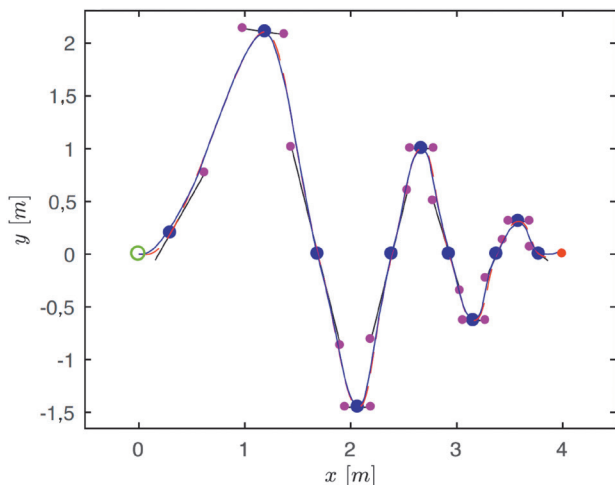


Рис. 3. Эталонная траектория движения беспилотной самоходной машины сельскохозяйственного назначения с отклонениями, полученными в результате эксперимента

Следует отметить, что при построении траектории движения беспилотной самоходной машины сельскохозяйственного назначения необходимо учитывать следующие ограничения:

$$\begin{cases} v_{min} \leq v(t) \leq v_{max}, \\ |\omega(t)| \leq \omega_{max}, \\ |a(t)| \leq \begin{cases} a_a, \text{ for } v(t) a(t) \geq 0 \\ a_d, \text{ for } v(t) a(t) < 0, \end{cases} \\ |\alpha(t)| \leq \begin{cases} \alpha_a, \text{ for } \omega(t) \alpha(t) \geq 0 \\ \alpha_d, \text{ for } \omega(t) \alpha(t) < 0, \end{cases} \end{cases}$$

где $v_{min} \in R^+$, $v_{max} \in R^+$, и $\omega_{max} \in R^+$ – границы линейной и угловой скорости, $a(t)$, $\alpha(t) \in R$ – линейное и угловое ускорение технического средства.

Выводы

1. Предложенный метод определения траектории, основанный на упорядочивании набора точек желаемого направления движения технического средства, которые соединяются с помощью отрезков на основе сплайн-интерполяции (кривых Безье), может являться основным для построения пути беспилотной самоходной машины сельскохозяйственного назначения.

2. Этот метод является предпочтительным, поскольку не требует предварительного расчета какой-либо траектории. Полиномы участвуют в оценке ограничений на основе нелинейной оптимизации для уменьшения длительности участков траектории движения беспилотной самоходной машины.

3. Успешное отслеживание построенной траектории движения беспилотного самоходного технического средства подтверждено экспериментальными исследованиями.

Список использованных источников

1. Дидманидзе О.Н. Тенденции развития цифровых технологий диагностирования технического состояния тракторов / О.Н. Дидманидзе, А.С. Дорохов, Ю.В. Катаев // Техника и оборудование для села. 2020. № 11(281). С. 39-43. DOI 10.33267/2072-9642-2020-11-39-41.
2. Перспективы развития тракторостроения в России / О.Н. Дидманидзе, Е.П. Парлюк, Н.Н. Пуляев, М.М. Прокофьев // Техника и оборудование для села. 2023. № 5(311). С. 2-7. DOI 10.33267/2072-9642-2023-5-2-7.
3. Дидманидзе О.Н. Трактор сельскохозяйственный: вчера, сегодня, завтра / О.Н. Дидманидзе, С.Н. Девянин, Е.П. Парлюк // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21. № 1. С. 74-85. DOI 10.30766/2072-9081.2020.21.1.74-85.
4. Корнейчук Н.П. Точные константы в теории приближений. Кембридж; Нью-Йорк: Кембриджский университет, 1991. 452 с.
5. Математическая энциклопедия / М. Хазевинкель. Берлин: Шпрингер: наука и деловые медиа, 1997. Т. 1. С. 119.
6. Кланкар Г. Управление мобильным роботом по заданной траектории / Г. Кланкар, Д. Матко и С. Блазич // Сб. матер. Междунар. науч.-практ. конф. по автоматизации и интеллектуальному управлению (IEEE-2005). Лимассол, Кипр, 2005. С. 1343-1348.
7. Тот Г. Элементы математики: проблемно-ориентированный подход к истории и основам. Берлин: Шпрингер: наука и деловые медиа, 2021. С. 263-318.
8. Янусакис К., Цес А. Построение траектории мобильного робота из упорядоченного набора точек с использованием оптимальных по времени отрезков Безье // Сб. матер. 26-й Средиземноморской конф. по управлению и автоматизации (XXVI MED). Афины, 2018. С. 1-9.

New Method for Determining the Trajectory of an Unmanned Self-propelled Agricultural Vehicle

O.N. Didmanidze

(RGAU–MSHA named after K.A. Timiryazev)

I.M. Azhmukhamedov

(Astrakhan State University named after V.N. Tatishchev)

A.V. Melikov, O.G. Bilich

(RGAU–MSHA named after K.A. Timiryazev)

Summary. The article presents a method for determining the trajectory of an unmanned self-propelled vehicle based on the use of trajectory parameters, initial and final speed of the vehicle which allow re-evaluation of the tangential speed of the vehicle and its spatial orientation in real time. The procedure for determining the speed of the vehicle and the optimal trajectory in time, the results of the experiment on forming the trajectory of the unmanned self-propelled vehicle are presented.

Key words: unmanned self-propelled vehicle, trajectory of motion, piecewise linear approximation, Bezier spline, tangential acceleration.

УДК 004.89:631

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-11-17-19

Разработка экспертной системы посева сельскохозяйственных культур с использованием искусственного интеллекта

В.А. Комаров,
д-р техн. наук, проф.,
komarov.v.a2010@mail.ru

О.А. Бакаева,
канд. техн. наук, доц.,
helga_rm@rambler.ru

Г.И. Шабанов,
д-р пед. наук, проф.,
shabanovgi@mail.ru
(ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарева»)

Аннотация. Рассмотрены возможности и область применения методов искусственного интеллекта в агропромышленном комплексе. Выделены положительные тенденции применения интеллектуальных систем в различных сферах АПК, а также факторы, тормозящие скорость внедрения интеллектуальных технологий в сельское хозяйство. Разработан прототип экспертной системы по предоставлению рекомендаций в части организации посева сельскохозяйственных культур в зависимости от типа почвы.

Ключевые слова: искусственный интеллект, малая экспертная система, прототип интеллектуальной системы, посев сельскохозяйственных культур.

Постановка проблемы

Одной из важных областей развития и практического применения технологий искусственного интеллекта (ИИ) в настоящее время является агропромышленный комплекс (АПК). Так как данная сфера деятельности охватывает много научных областей, то использование систем ИИ имеет широчайший спектр применения (агрономия, животноводство, мелиорация, растениеводство и др.) [1-3]. Разработка и внедрение отечественных интеллектуальных систем позволит помочь в решении многих важных проблем, возникающих в АПК, и обеспечить оптимальное распределение ресурсов и эффективный менеджмент [4, 5].

Одно из главных преимуществ интеллектуальных систем – возможность сбора и анализа большого количества данных в режиме реального времени,

это позволяет принимать более точные решения и повышать эффективность использования ресурсов. Использование методов ИИ в различных сферах АПК способствует повышению производительности и увеличению урожайности [6, 7].

В области растениеводства ИИ способен, учитывая оценку состояния почвы, предлагать оптимальные даты посевных и уборочных мероприятий, в процессе которых «умные» технологии проводят корректировку продолжительности работы в поле с учетом большого количества случайных факторов, таких как погода или низкая (высокая) урожайность и др. [8].

Используя большой объем данных по урожаю за прошлые периоды, можно с помощью ИИ прогнозировать урожайность, возникновение неблагоприятных факторов (погода, вредители и др.), распределять земельные участки в севообороте. Таким образом, системы искусственного интеллекта позволяют осуществлять контроль процесса возделывания посевных площадей и сбора урожая, а также оптимизировать условия выращивания различных сельскохозяйственных культур.

Внедрение и использование технологий ИИ в АПК позволит вывести труд специалистов на новый уровень, достичь качественных результатов, гарантирующих обеспечение продовольственной безопасности страны.

Цель исследований – провести анализ использования методов ИИ в АПК и разработать прототип экспертной системы для поддержки принятия решений специалистом АПК с использованием малой экспертной системы (МЭС).

Материалы и методы исследования

Проведение исследований основывалось на следующих положительных тенденциях применения интеллекту-

альных систем в различных областях АПК: увеличение продуктивности сельскохозяйственных площадей, повышение эффективности производства, снижение затрат на отдельных этапах производства сельскохозяйственной продукции, улучшение ее качества, возможность применения автоматического управления технологическими процессами, эффективный анализ данных с целью «умного» прогнозирования и планирования.

В качестве методов исследования использовались теоретико-аналитический инструментарий, методы анализа, сравнения и обобщения. В практической части была применена версия МЭС 2.0, которая является распространенной экспертной системой, основанной на байесовской системе с использованием логического вывода. На ее основе разработаны основные принципы построения прототипа экспертной системы по предоставлению рекомендаций посева определенных культур [9].

Экспертная прикладная система искусственного интеллекта основывалась на продукционной модели и включала в себя базу знаний и машину вывода, позволяющую распознать ситуацию, поставить диагноз и дать рекомендации для выбора действия, а также интерфейс пользователя, который объединял их в единое целое (рис. 1) [10-12].

Экспертная система использовалась для получения качественных и быстрых консультаций в различных проблемных областях сельскохозяйственных технологических операций при минимизации различных ресурсов. Основным отличием экспертной системы являлась возможность их создания в проблемных областях, где существуют структурированные знания и накоплен обширный опыт.

Для получения окончательного результата привлекался пользователь-эксперт, что выражалось в постановке



Рис. 1. Структура экспертной системы

задачи, создании и заполнении базы знаний качественными посылками и выводами, в некоторых случаях – предложениями возможного варианта решения данной задачи, уточнения данных в процессе решения.

Результаты исследований и обсуждение

В ходе исследования выявлен ряд факторов, тормозящих скорость внедрения интеллектуальных технологий в АПК: специфичность производственных действий в разных отраслях АПК, выражающаяся в невозможности использования универсальных «умных» технологий; недостаточное количество соответствующих специалистов АПК, владеющих знаниями по разработке и использованию систем ИИ, дефицит квалифицированных инженеров, владеющих IT-технологиями; высокая стоимость разработки и внедрения интеллектуальных систем в производство или управленческий процесс; необходимость инвестиционных вложений и поддержки на государственном уровне; отсутствие надежного «юридического фундамента» в сфере ИИ.

Однако эти факторы не способны остановить проникновение интеллектуальных технологий в АПК. Результаты исследований в области роста урожайности сельскохозяйственных культур в мире показали, что ускорение темпов внедрения ИИ в АПК позволит увеличить ее к 2050 г. примерно на 70% [11]. Это становится возможным благодаря ведомственному проекту Минсельхоза России «Цифровое сельское хозяйство» [13].

Основой разработки экспертной системы по предоставлению рекомендаций посева сельскохозяйственных культур являлись эксперты с большим практическим опытом и высокими профессиональными знаниями характеристик почвы и показателей исполь-

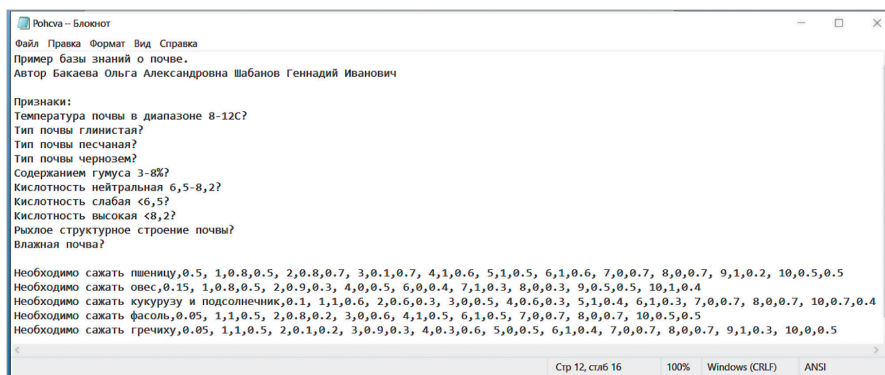


Рис. 2. Прототип (база знаний) характеристик почвы

зования сельскохозяйственной техники. В результате исследования разработан прототип экспертной системы, решающий данную задачу с помощью МЭС. База знаний, загружаемая в МЭС, содержит предпосылки (10 вопросов, характеризующих почву) и 5 исходов (утверждений о самой оптимальной культуре для этого типа почвы). Предпосылки и исходы получены с участием команды экспертов (рис. 2).

За исходы были взяты самые распространенные сельскохозяйственные растения (пшеница, овес, кукуруза, подсолнечник, фасоль, гречиха). После их перечисления указываются априорные вероятности распределения приоритета посадки. Для пшеницы – 0,5 (50%). Это означает, что эксперт считает, что половина земельных угодий подходит для пшеницы, независимо от информации о типе почвы. Для остальных культур эти начальные вероятности меньше.

Далее указывается номер вопроса и вероятности положительных и отрицательных ответов для этого исхода. Достоинством МЭС является возможность пропускать некоторые вопросы для различных исходов, если на данный вывод не может повлиять какой-то вопрос.

На следующем этапе база данных заносится в компоненты МЭС v2.0. В результате в левой верхней области интерактивного окна отображается перечень исходов (элементов) базы данных с доступным представлением текущих величин вероятностей посадки конкретной культуры (рис. 3).

После запуска экспертная система предложит 10 вопросов-утверждений. Настройки позволяют отвечать на каждый вопрос, указав вероятность истинного исхода в диапазоне

[0; 1] или коэффициент уверенности – число в диапазоне [-5; 5], где значение «0» свидетельствует о незнании данного утверждения. Такой ответ никаким образом не повлияет на исход. При вводе вероятности этой возможности нет.

В процессе ответа на предложенные вопросы-свидетельства в левом верхнем окне в реальном режиме (после каждого нового ответа) меняется вероятность исхода, т.е. показывается список приоритетных культур в порядке их убывания. Серым цветом выделяются исходы, которые невозможны. В данном случае гречиху и овес сажать нельзя (рис. 4).

Как видно из рис. 4, рекомендовано сажать пшеницу с вероятностью 97%, кукурузу и подсолнечник – 85 и фасоль – 70%. При других ответах на вопросы, другом типе почвы (глинистая, чернозем, с нейтральной кислотностью) кукуруза и подсолнечник имеют небольшое преимущество перед пшеницей. В верхнем правом окне указывается история ответов через вероятность или коэффициент уверенности. Если была ошибка, можно перезапустить консультацию.

В настоящее время во многих регионах России созданы геоинформационные системы «Геоаналитический центр управления АПК» и идет интенсивное наполнение различных категорий баз данных. Применение современных геоинформационных технологий позволит решить проблемы создания баз данных, хранения информации, обновления баз знаний и мгновенного анализа текущего состояния различных параметров почв на земельных участках с использованием ИИ.

При этом важным фактором является также установление качественного и

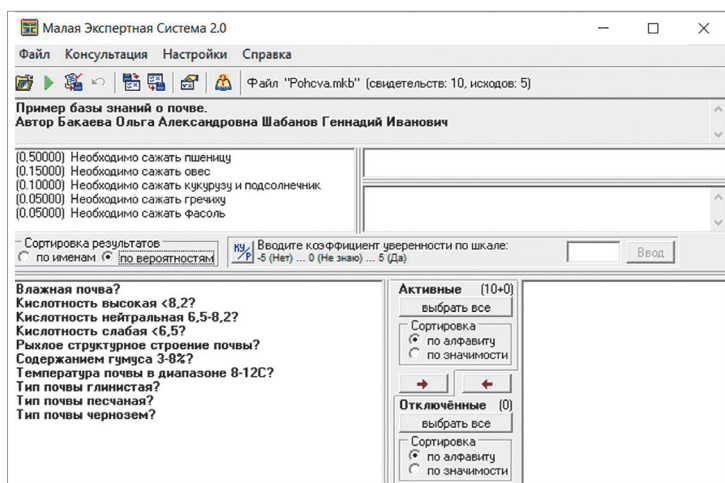


Рис. 3. Окно МЭС с загруженной базой знаний о характеристиках почвы

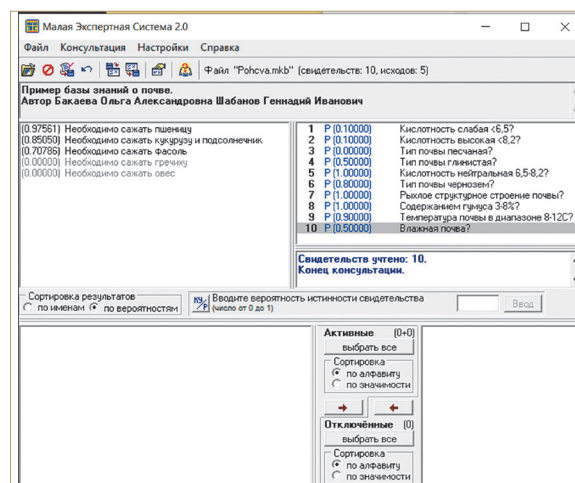


Рис. 4. Результаты работы прототипа МЭС с учетом вероятностей посева сельскохозяйственных культур

количественного состава машинно-тракторного парка и участков его использования. Использование ИИ при проведении агротехнических технологических операций позволит ускорить совершенствование методов анализа эффективности землепользования с учетом типа почв и видов сельскохозяйственных культур.

Выводы

1. Внедрение и использование технологий ИИ в АПК позволит вывести труд специалиста на новый уровень, на котором будут достигнуты качественные результаты, гарантирующие обеспечение продовольственной безопасности страны.

2. Определены основные положительные тенденции применения интеллектуальных систем в различных областях АПК, позволяющие сформировать эффективное использование ИИ при выполнении многочисленных технологических операций в сельскохозяйственном производстве.

3. Создан прототип экспертной системы с целью определения вероятностей посадки приоритетных сельскохозяйственных культур в зависимости от типа почвы. Данный прототип разработан на основе программного продукта «Малая экспертная система v2.0». Таким образом, показано, что интеллектуальные системы могут быть использованы даже при решении конкретных практических и узкоспециализированных задач.

4. Установлено, что для ускорения внедрения интеллектуальных систем в

сельскохозяйственное производство необходимо полное завершение работ по наполнению федеральных и региональных баз данных геоинформационных систем внутри созданных структур «Геоаналитический центр управления АПК».

Список

использованных источников

1. Цой Ю.А., Кирсанов В.В., Передня В.И. Искусственный интеллект и направления его использования в сельскохозяйственных процессах // Техника и оборуд. для села. 2023. № 8. С. 2-6.
2. Скворцов Е.А. Перспективы применения технологий искусственного интеллекта в сельском хозяйстве региона // Экономика региона. 2020. Т. 16, № 2. С. 563-576.
3. Поленов Д.Ю. Искусственный интеллект в регулировании продуктивности объектов сельского хозяйства // Вест. Воронежского ГАУ. 2021. Т. 14, № 1. С. 46-51.
4. Васильев С.А. Интеллектуальная технология контроля качества обработки почвы в системе точного земледелия // Земледелие. 2022. № 3, С. 36-41.
5. Аладина Е.В., Аладин Д.В. О применении миварных технологий для создания логической интеллектуальной системы обеспечения ухода за растениями // Информация и образование. 2020. № 12. С. 169-173.
6. Соловьев Д.А., Камышова Г.Н., Колганов Д.А., Терехова Н.Н. Цифровые технологии и интеллектуальные системы управления оросительным комплексом с учетом фактических влагозапасов // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 1. С. 368-379.
7. Дорохов А.С., Новиков Н.Н., Митрофанов С.В. Интеллектуальная технология формирования удобрений // Техника и оборуд. для села. 2020. № 7. С. 2-5.
8. Коротченя В.М., Личман Г.И. Приоритеты развития почвообрабатывающих технологий // Техника и оборуд. для села. 2023. № 2. С. 2-6.

9. Малая экспертная система v2.0 [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://pcwin.ru/malaya-ekspertnaya-sistema_download/ (дата обращения: 24.03.2024).

10. Спешилова Н.В., Шепель В.Н. Применение методов статистического моделирования и математического программирования для обоснования принятия решений в региональных сельскохозяйственных организациях // Экономика и предпринимательство. 2020. № 6. С. 555-559.

11. Федотова Г.В., Сложенкина М.И., Григорян Л.Ф., Куразова Д.А. Интеллектуальные тренды развития АПК // Известия Юго-Западного гос. ун-та. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. 2019. Т. 9, № 4. С. 84-95.

12. Якушев В.В. Интеллектуальные системы управления для ресурсосберегающих технологий точного земледелия // Экологические системы и приборы. 2010. № 7. С. 26-33.

13. Гордеев А.В., Патрушев Д.Н., Лебедев И.В. Ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство». М.: ФГБНУ «Росинформ-агротех», 2019. 46 с.

Expert System for Sowing Agricultural Crops Using Artificial Intelligence

V.A. Komarov, O.A. Bakaeva, G.I. Shabanov

(Mordovia State University named after N.P. Ogarev)

Summary. The possibilities and scope of application of artificial intelligence methods in the agro-industrial complex are considered. Positive trends in the application of intelligent systems in various areas of the agro-industrial complex are highlighted, as well as the factors that slow down the rate of implementation of intelligent technologies in agriculture. The prototype of an expert system for providing recommendations on the organization of sowing of agricultural crops depending on the type of soil is developed.

Key words: artificial intelligence, small expert system, prototype of intelligent system, sowing of agricultural crops.

Скоростной культиватор полосовой обработки почвы

А.Л. Севостьянов,
канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой,
sewostya@list.ru
(ФГБОУ ВО «Орловский ГАУ»,
ООО «ПлантаСтрип»);

В.Г. Максимов,
ген. директор,
v.maksimov@doragromash.ru
(ООО «ДорАгроМаш»);

А.А. Ветров,
ген. директор,
a.vetrov@truzhenik.org
(ООО «Труженик»)

Аннотация. Представлен новый агрегат, который реализует ресурсосберегающую технологию скоростной полосовой обработки почвы Strip-till. Агрегат имеет возможность внесения удобрений (сухих гранулированных, жидких и жидкого навоза), равномерно перемешивая их в обрабатываемом ряду, ленточным способом (слева или справа от турбодисков), а также внесения безводного аммиака. Рабочая секция скоростного культиватора Strip-till обрабатывает рядок шириной 22 см, глубиной 14 см. Почва активно рыхлится и перемешивается рабочими органами – турбодисками, а турбулентный почвенный поток отражается щитками на ножи и укладывается в полосу, образуя небольшой гребень.

Ключевые слова: агрегат, ресурсосберегающая технология, полосовая обработка, Strip-till, рабочие органы, турбодиск, очиститель рядка.

Благодарности: **ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере», которым предоставлена грантовая поддержка в целях реализации результата федерального проекта «Взлёт – от стартапа до IPO» (проект № 90907, заявка № С1-322921).**

Постановка проблемы

Обозначенные в Стратегии научно-технологического развития

Российской Федерации приоритет и перспективы научно-технологического развития, переход к развитию природоподобных технологий, воспроизводящих системы и процессы живой природы в виде технических систем и технологических процессов, интегрированных в природную среду и естественный природный ресурсооборот, реализуются при разработке опытного образца комбинированного комплекса для посева сельскохозяйственных культур по Strip-till и направлены на переход от традиционной системы земледелия к природоподобным технологиям в растениеводстве.

Предотвращение деградации земель и снижения плодородия почв, рекультивация нарушенных земель, ликвидация накопленного вреда окружающей среде, экологическая реабилитация территорий – задача, направленная на реализацию государственной политики, поставленная в Указе Президента Российской Федерации от 02.07.2021 № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации».

Strip-till-технология является компромиссом между классической (обычной) и нулевой обработками почвы (No-till). Принципиальное отличие Strip-till – обработка отдельной полосы, сочетающая в себе все виды обработки (ГОСТ 16265-89). В последние годы как в научном сообществе, так и сельскохозяйственными товаропроизводителями обсуждается технология полосной обработки почвы Strip-till, которая появилась больше 50 лет назад в США [1–10].

В сельском хозяйстве Российской Федерации Strip-till начали использовать в 2010–2011 гг. Данная технология дает отличные результаты при возделывании пропашных культур, таких как кукуруза и подсолнечник [5].

Цель исследований – разработка скоростного культиватора с функционально выстроенным последовательным рядом рабочих органов для энерго- и ресурсосберегающей технологии полосовой обработки почвы Strip-till.

Материалы и методы исследования

Ограничивающим фактором для более широкого спектра применения по отношению к номенклатуре сельскохозяйственных культур технологии Strip-till являются конструктивные особенности рабочих секций культиваторов, которые позволяют обрабатывать междурядья шириной 45–75 см, традиционно – 75 см.

Проведенная систематизация позволила выделить следующие преимущества Strip-till:

- сокращение количества агрегатов в системе машин. За один проход орудие проводит полную обработку почвы, одновременно вносит удобрение и осуществляет посев семян. Экономия топлива – в 2–4 раза за счет уменьшения числа проходов по полю;
- увеличение урожайности до 25%. Создание благоприятных условий для развития корневой системы (увеличение общего объема корней на 20–40%) и, как следствие, больший охват плодородного горизонта, доступ растений к почвенной влаге и питательным веществам. Снижение зависимости от засушливых погодных условий. Повышение отдачи поля – ранний прогрев почвы на необходимую температуру для посева по сравнению с No-till-технологией;
- экономия средств на удобрение до 50%. Удобрения размещаются там, где нужно растению;
- развитие природоподобных технологий. Способствует повышению содержания органического вещества

Таблица 1. Динамика цен на топливо в Российской Федерации, руб.

Вид топлива	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Газовое моторное, л	15,78	17,26	17,11	18,21	18,45	22,06	22,32	24,71	28,34	19,14	26,53
Дизельное, л	33,47	34,46	35,53	37,42	41,05	47,15	48,18	48,84	54,49	58,94	64,92
Бензин автомобильный марки АИ-92	29,53	32,35	33,86	35,57	38,12	41,87	42,46	43,76	47,6	47,18	50,56

Источник: составлено авторами, разделы ФПСР 1.29.1. Средние цены на отдельные потребительские товары (услуги) и индексы потребительских цен, <https://fedstat.ru> (дата обращения 06.04.2024).

Таблица 2. Затраты на основное производство в Российской Федерации, тыс. руб.

Затраты	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Материальные	1783142231	193189548	213048067	2324072519	2822314256	3298206501
На оплату труда	320063459,7	341252376	355954774	383496434,0	414676653,4	475855576,4
Отчисления на социальные нужды	97691135,6	103143894	108509622	110039554,1	116616051,7	132170603,4
Амортизация	243243997,6	267361150	292019459,8	326612055,6	3655989549,8	425757005,5
Прочие	135679005	150127129	160809006	188697526	212589860	248942817,1

Источник: составлено авторами, разделы ФПСР 30.03. Затраты на производство продукции сельского хозяйства по элементам в сельскохозяйственных организациях, <https://fedstat.ru> (дата обращения 06.04.2024).

(гумуса), снижению плотности почвы. Повышается коэффициент инфильтрации воды. Сохранение стерни предшественника снижает эрозионную опасность.

Журавлев С.Ю. [11] отмечает в качестве одного из путей снижения энергозатрат использование современных технологий по минимальной и нулевой технологиям обработки почвы и возделывания сельскохозяйственных культур, что предполагает разработку соответствующей системы машин. Однако минимальные технологии не всегда приводят к увеличению продуктивности при снижении энергетических и материальных ресурсов. Применение этих технологий зачастую ограничивается природно-климатическими условиями отдельных сельскохозяйственных зон.

В растениеводстве основным потребителем топлива является машинно-тракторный агрегат, выполняющий определённый вид работы (вспашка, культивация, посев и др.), который использует повсеместно дизельное топливо как источник энергии. Динамика цен на топливо в Российской Федерации приведена в табл. 1.

Анализ данных показывает, что стоимость дизельного топлива за последние 10 лет выросла на 193%, бензина – на 171, газомоторного топлива – на 168%. При этом производственная себестоимость продукции

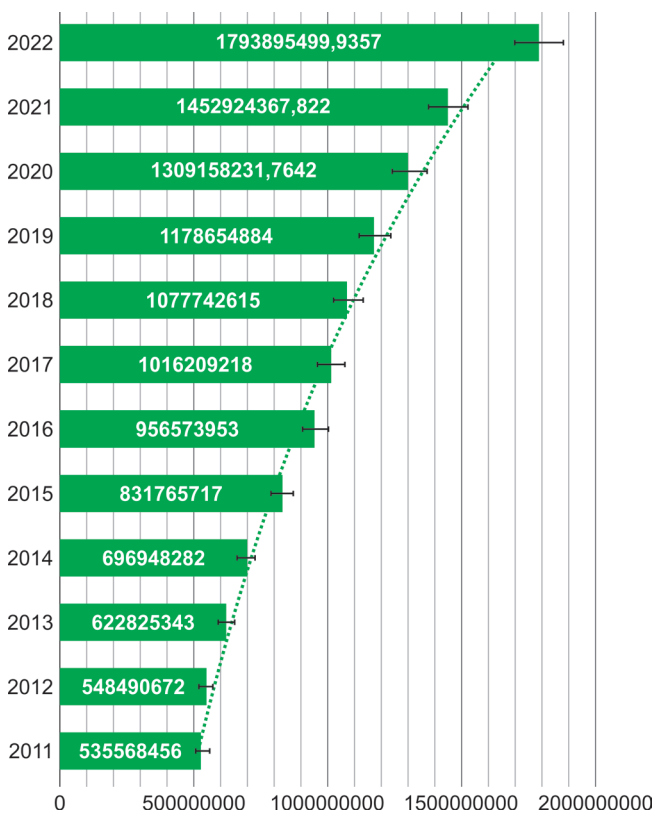


Рис. 1. Производственная себестоимость продукции растениеводства, тыс. руб.

Источник: составлено авторами, разделы ФПСР 30.02. Себестоимость производства и реализации основных видов сельскохозяйственной продукции в сельскохозяйственных организациях, <https://fedstat.ru> (дата обращения 06.04.2024).

растениеводства (рис. 1) и затраты на основное производство (табл. 2) в АПК за последние 10 лет выросли более чем 2,5 раза.

Применение в современном растениеводстве ресурсосберегающих технологий обработки почвы, в том числе Strip-till, способствует сокращению затрат на основное производство.

Результаты исследований и обсуждение

Скоростной культиватор полосовой обработки почвы (рис. 2) представляет собой агрегат, в состав которого входят несколько рабочих секций. По конструктивному исполнению агрегат может быть прицепным или навесным, при работе обеспечивает

обычную, мелкую и поверхностную обработку почвы к севу пропашных сельскохозяйственных культур (кукуруза, подсолнечник, свекла и т.п.).

Рабочая секция скоростного культиватора (патент РФ 193352) – функционально выстроенный последовательный ряд рабочих органов: разрезающих, расчищающих обрабатываемые полосы, рыхлительных с тупопроводом для внесения удобрений, прикатывающих (рис. 3).

Рабочие органы, установленные на корпусе 4 секции, через параллелограммный узел копирования, состоящий из верхнего 2 и нижнего 3 рычагов, закреплены к несущей раме культиватора (не показано) высокопрочными болтами 19 с помощью плиты 1 и скобы 18 крепления секции. В передней части рабочей секции на кронштейне 17 установлен основной волнообразный разрезающий диск 16 (Ø 440 мм). Он предназначен для разрезания пожнивных остатков и формирования первого разреза почвы, максимальная глубина разрезания почвы 15 см. Следом за основным диском на корпусе секции установлены расчищающие звездообразные колеса 15, предназначенные для уборки пожнивных остатков из зоны обработки почвы. Колеса Ø 380 мм расположены под углом 25° к вертикальной оси рабочей секции и изготовлены из высокопрочной стали.

На корпусе сбоку с помощью кронштейна 14 установлен первый волнообразный рабочий диск 13 (Ø 510 мм), предназначенный для рыхления и перемешивания почвы в полосе обработки, угол наклона к вертикальной оси секции – 10-30°. Максимальная глубина обработки почвы 15 см.



Рис. 2. Скоростной культиватор полосовой обработки почвы серии «Скоростной» – вид общий

Источник: <https://doragromash.ru/product/agregaty-dlya-obrabotki-pochvy/skorostnoy-kultivator-polosovoy-obrabotki-pochvy-skorokhod-8-ryadnyy-pritsepnoy/> (дата обращения 27.04.2024).

С противоположной стороны от первого волнообразного рабочего диска на кронштейне 8 установлен второй волнообразный рабочий диск 12 (Ø 440 мм), который рыхлит и перемешивает почву в полосе обработки, угол наклона к вертикальной оси секции – 10-30°, максимальная глубина обработки – 12 см.

Сзади волнообразных рабочих дисков на корпусе установлены прикатывающие доразбивающие колеса 11, предназначенные для дробления комков и прикатывания разрыхленной почвы. Колеса имеют винтообразно размещенные по их внутренней стороне пластины 10

для неагрессивной доработки верхнего слоя разрыхленной почвы и формирования гребня высотой 4-5 см. Сверху над прикатывающими колесами на корпусе установлен жесткий фартук 7, препятствующий выбросу комков почвы из обработанного ряда. Со стороны первого волнообразного рабочего диска, активность которого выше, чем у второго диска, на кронштейне 14 установлен защитный щиток 9, предназначенный для отражения турбулентного потока почвы, которую обрабатывает первый волнообразный рабочий диск.

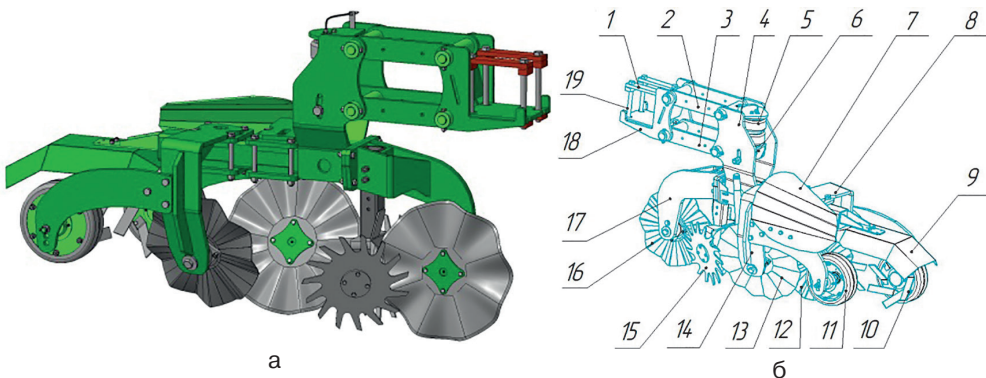
Отраженная от щитка почва попадает на винтообразно размещенные пластины 10 прикатывающих колес, которые ее доразбивают и формируют гребень. В верхней части корпуса на опоре б установлена пневмоподушка 5, предназначенная для создания дополнительного давления на рабочие органы секции, препятствующего выходу их из почвы. В зависимости от давления в пневмоподушке возможно принудительное догружение рабочей секции до 220 кг. Накачивание воздуха в пневмоподушку осуществляется насосом любого типа или бортовым компрессором трактора.

Конструкцией секции предусмотрено, что вместе с полосовой обработкой могут вноситься минеральные удобрения в жидком или гранулированном виде. Удобрения можно вносить ленточным методом с наружной стороны первого волнообразного рабочего диска на глубину до 15 см или со стороны второго волнообразного рабочего диска на глубину до 12 см. Секция может комплектоваться трубкой 20, которая устанавливается в зоне первого волно-

Рис. 3. Рабочая секция скоростного культиватора полосовой обработки почвы:
а – общий вид; б – схема

Источник:

<https://doragromash.ru/product/agregaty-dlya-obrabotki-pochvy/skorostnoy-kultivator-polosovoy-obrabotki-pochvy-skorokhod-8-ryadnyy-pritsepnoy/> (дата обращения 27.04.2024).



образного рабочего диска и служит для внесения жидких минеральных удобрений. Гранулированные удобрения подаются через лейку. Трубка и лейка крепятся к корпусу рабочей секции с помощью дополнительных кронштейнов.

Адресное внесение удобрений обеспечивает питанием семя возделываемой культуры на начальном этапе развития. В зависимости от места расположения первого волнообразного рабочего диска рабочие секции бывают левые и правые. На одном агрегате устанавливается половина левых и половина правых секций – для обеспечения прямолинейного движения агрегата. После такой обработки возможен сев различных культур в обработанные полосы обычной пропашной сеялкой.

Рабочая секция в составе скоростного культиватора полосовой обработки почвы работает следующим образом. При движении трактора происходит заглубление рабочих органов рабочих секций в почву на заданную глубину. Основной волнообразный разрезающий диск разрезает растительные остатки, находящиеся на поверхности и в верхнем слое почвы, и выполняет ее разрез на заданную глубину. Расчищающие звездообразные колеса отбрасывают разрезанные растительные остатки из зоны обработки. Первый волнообразный рабочий диск левой рабочей секции разрыхляет и перемешивает почву слева от реза, произведенного основным разрезающим диском, а второй волнообразный рабочий диск разрыхляет и перемешивает почву справа от реза. Рабочие волнообразные диски правых рабочих секций, наоборот, разрыхляют и перемешивают сначала правую, а затем левую стороны почвы от первоначального реза. Прикатывающие колеса с помощью пластин разбивают оставшиеся комья почвы и прикатывают их, образуя гребень высотой 4-5 см. В конце полосы обработки рабочие секции выглубляются из почвы. Машинно-тракторный агрегат разворачивается для следующего прохода. Разворот с заглубленными рабочими секциями не допускается.

Выводы

1. Применение разработанного агрегата позволит улучшить качество предпосевной обработки почвы, значительно сократить время и обеспечить экономию топлива за счет комплексной обработки и высокой рабочей скорости (до 20 км/ч).

2. Культиватор обеспечивает более равномерное распределение нагрузок на почву, возможность применения на различных почвах, в том числе переувлажненных, адресное внесение удобрений, сокращение времени подготовки агрегата к работе.

3. На одну рабочую секцию затрачивается 7,35-11 кВт мощности двигателя трактора. Благодаря выполнению нескольких операций за один проход экономия топлива и смазочных материалов составляет до 40%.

Список

использованных источников

1. **Борисенко И.Б., Мезникова М.В.** Применение ресурсосберегающей технологии Strip-till при выращивании сорго // Известия Оренбургского ГАУ. 2015. № 6(56). С. 82-84.
2. **Бойков В.М., Старцев С.В., Воротников И.Л., Нарушев В.Б.** Обоснование целесообразности использования полосовой (Strip-till) обработки почвы в условиях степного Поволжья // Аграрный научный журнал. № 10 (2019). С. 99-104. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2019i10pp99-104>.
3. **Рзалиев А.С., Бекмухаметов Ш.Б., Голубородько В.П., Абдикаиров А.А., Бегалы Д.К., Боранбаев Б.Е.** Комбинированное орудие для основной полосовой обработки почвы по технологии Strip-till в условиях юга Казахстана // Успехи современного естествознания. 2019. № 7. С. 26-32; URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37155> (дата обращения: 27.04.2024).
4. **Воротников И.Л., Субботин А.Г., Летучий А.В.** Оценка продуктивности подсолнечника и кукурузы, возделываемых по технологии Strip-till // Научно-агрономический журнал. 2023. № 1 (120). С. 73-77. DOI: 10.34736/FNC.2023.120.1.011.73-77.
5. Агротехнические особенности использования Strip-till-технологии в растениеводстве (рекомендации производству) / Х.М. Сафин, Р.С. Фахрисламов, Л.С. Шварц, Ф.М. Давлетшин, С.Г. Мударисов, З.С. Рахимов, Д.С. Аюпов, А.Ш. Уметбаев. Уфа: Мир печати, 2017. 44 с.
6. **Ершов С.В.** Технология полосной обработки почвы Strip-till // АгроФорум. 2023.

№ 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-polosnoy-obrabotki-pochvy-strip-till> (дата обращения: 27.04.2024).

7. **Бойков В.М., Старцев С.В., Воротников И.Л., Павлов А.В.** Комбинированная технология и агрегат для полосовой обработки почвы // МНИЖ. 2021. № 1-1 (103). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kombinirovannaya-tehnologiya-i-agregat-dlya-polosovoy-obrabotki-pochvy> (дата обращения: 27.04.2024).

8. **Раймер Уве Тиссен.** Обоснование технологии полосовой обработки почвы при возделывании сельскохозяйственных культур : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / ФГБОУ ВО Алтайский ГТУ им. И.И. Ползунова, 2017. 19 с.

9. **Аминов Р.И.** Обоснование параметров и разработка культиватора для полосовой обработки почвы и объемного внутрпочвенного внесения удобрений : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, 2022. 20 с.

10. **Валиулин И.Э.** Повышение эффективности полосовой обработки почвы путем совершенствования конструктивной схемы и параметров культиватора : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 4.3.1 / ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, 2022. 20 с.

11. **Журавлев С.Ю.** Минимизация энергозатрат при использовании машинно-тракторных агрегатов. Красноярск: Красноярский ГАУ, 2014. 256 с.

High-speed Strip Tillage Cultivator

A.L. Sevostyanov

(Oryol State Agricultural University, LLC "PlantaStrip")

V.G. Maksimov

(LLC "DorAgroMash")

A.A. Vetrov

(LLC "Truzhenik")

Summary. The article presents new equipment that implements the resource-saving Stripp-till technology of high-speed strip soil cultivation. The equipment has the ability to apply fertilizers (dry granular, liquid and liquid manure), uniformly mixing them in the processed row, in a strip manner (to the left or to the right of the turbo discs), as well as anhydrous ammonia. The width of the row processed by the high-speed Strip-till cultivator is 22 cm, the depth of processing is 14 cm. The soil is actively loosened and mixed by the working bodies - turbo discs, and the turbulent soil flow is reflected by the shields onto the knives and laid in the strip, forming a small ridge.

Key words: equipment, resource-saving technology, strip tillage, Strip-till, working bodies, turbo disc, row cleaner.

УДК 636.085.67

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-11-24-27

Результаты исследования механизма и особенностей микронизации фуражного зерна

Ф.А. Киприянов,

канд. техн. наук, доц.,

kipriyanovfa@bk.ru

(ФГБОУ ВО «Вологодская ГМХА»);

П.А. Савиных,

д-р техн. наук, проф.,

peter.savinyh@mail.ru

(ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока)

Аннотация. Приведены результаты исследования изменения структуры зерновки ячменя до и после микронизации. В результате эксперимента установлено, что основным механизмом изменения размеров зерновки и деструкции ее строения является образование пара из влаги, содержащейся в зерне. Также получены результаты, подтверждающие теорию капиллярного строения зерновки. Проведена оценка влияния механических повреждений на степень изменения ее размеров. Выполнены исследования для проверки целесообразности повторной микронизации фуражного зерна.

Ключевые слова: микронизация, зерно, усилие разрушения, фуражное зерно, изменение размеров, капиллярная структура.

Постановка проблемы

Микронизация является одним из способов подготовки зерновых кормов к скармливанию сельскохозяйственным животным. В результате микронизации в зерне происходит комплекс изменений: повышается содержание крахмала, увеличивается выход обменной энергии, улучшаются вкусовые свойства, повышается его усвояемость [1-5]. При этом основным внешним проявлением эффекта микронизации являются изменения размеров зерна, зачастую с разрушением структуры зерновки [6].

Существуют две гипотезы относительно механизма, приводящего к увеличению размеров. Первая заключается в том, что, по мнению исследователей, движущей силой расширения зерновок является разворачивание спиралей амилазы, содержащихся в крахмале зерна (на основании сравнительного анализа результатов нагрева кукурузы сорта Жемчужная с большим содержанием амилазы и восковидной, практически ее не содержащей), «взорванные» зерна получают только из образцов, содержащих амилазу [7, 8].

Вторая гипотеза заключается в том, что основным механизмом, приводящим к разрушению зерновки, является избыточное давление пара, образующееся при испарении влаги, содержащейся в капиллярах зерна [9]. Поэтому актуальным является экспериментальное исследование процессов, происходящих в строении зерновок при ми-

кронизации, с целью обоснования той или иной гипотезы по увеличению размеров микронизированного зерна.

Часто не все зерно одинаково увеличивается в размерах при обработке ввиду нагрева разной интенсивности. С практической точки зрения интерес представляют процесс повторной микронизации и особенности, возникающие при нагреве зерна.

Цель исследования – экспериментальное изучение механизма деструкции зерновки при микронизации целого и поврежденного фуражного зерна на примере ячменя и выявление особенностей повторной микронизации зерновок, у которых при первоначальной обработке увеличения размеров не произошло.

Материалы и методы исследования

Изучение механизма деструкции зерновки проводилось на ячмене сорта Дина. Оптическая оценка структурного изменения зерновки осуществлялась при 24-кратном увеличении с помощью микроскопа отсчетного МПБ-2, изменение капиллярной структуры оценивалось на микроскопе Альтами типа «104» при верхнем освещении зерновки и 100-кратном увеличении.

В качестве источника инфракрасного излучения использовался коротковолновый излучатель типа QHL мощностью 1500 Вт. Инфракрасное облучение проводилось в стационарном положении источника излучения без перемещения зерновок относительно спирали излучателя. Измерение толщины и ширины зерновки осуществлялось с помощью штангенциркуля ШЦЦБ-1-150 0.01 с ценой деления 0,01 мм.

Для оценки повторной микронизации наряду с ячменем сорта Дина использовалась рожь сорта Графиня. Усилие разрушения зерновки определялось динамометром Мегеон 04500 с клиновидным наконечником.

Результаты исследований и обсуждение

Оценка строения зерновки ячменя до микронизации показала, что она имеет плотную стеклоподобную структуру и, хотя на продольном разрезе капиллярное строение зерновки не прослеживается (рис. 1а), более удачный поперечный разрез позволяет увидеть наличие мелких пор – капилляров в теле зерновки, поры при этом имеют относительно округлую форму и распределены по всему поперечному сечению зерновки (рис. 1б).

В результате микронизации происходят структурно-молекулярные изменения в зерновке, внешне проявляющиеся в изменении размера, цвета и строения, при

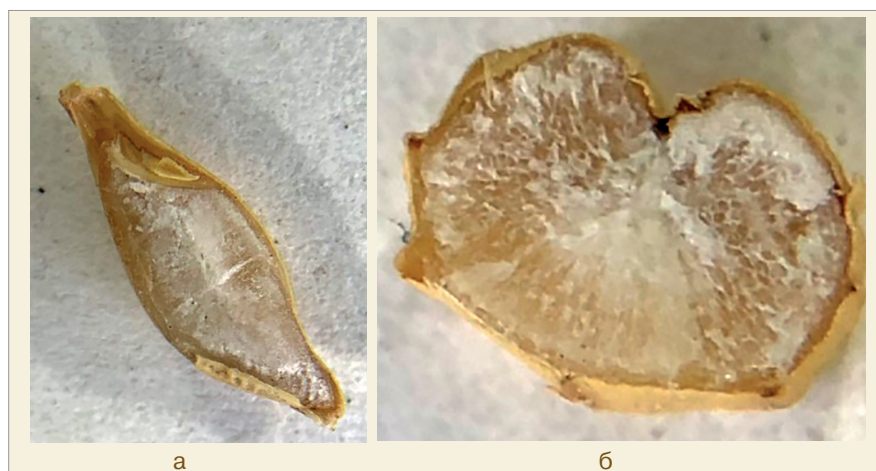


Рис. 1. Строение зерновки ячменя до микронизации:
а – продольный разрез, б – поперечный разрез



Рис. 2. Поперечный разрез зерновки после микронизации

этом форма капилляров меняется. Основной причиной изменения строения зерновки является то, что в результате нагрева влага превращается в пар и выходит из зерновки, разрушая ее структуру. На снимках отчетливо видно, что выходящий пар не только образует пустоту в центре зерновки, но и несколько меняет капиллярное строение структуры зерна, преобразуя капилляры в каналы, имеющие радиальную направленность. Исследование на микроскопе с большим увеличением также позволяет выявить удлинение формы капилляров (рис. 2-3).

Таким образом, основным фактором деструкции является образование избыточного давления пара, проявляющее капиллярную структуру зерновки, хотя, как считают некоторые специалисты, нельзя исключать и воздействие спиралей амилазы при интенсификации обработки [8].

При микронизации фуражного зерна некоторые зерна поступают с различными механическими повреждениями (нарушена целостность оболочки, зерновка может быть разрушена на несколько частей и т.д.). Причины этого – повреждения во время уборки, когда зерно не имеет достаточной прочности; разрушение сухого зерна, например в шнековых транспортерах, и т.д. Нарушение целостности, пусть и небольшого количества зерен, ставит вопрос об эффективности их микронизации.

Рассмотрим зерновку как плотно закрытый сосуд, внутри которого расположена мелкокапиллярная масса, а процесс протекания микронизации с механической точки зрения – как расширение сосуда под действием пара, образующегося из жидкости, находящейся в капиллярах. Сформулируем гипотезу: механическое повреждение зерновок до микронизации, выражающееся в нарушении целостности оболочки либо разрушении зерновки, приведет к снижению интенсивности изменения размеров при микронизации.

Для исследования сформулированной гипотезы проводилась микронизация двух проб зерна. Первая проба представляла собой целые, неповрежденные зерна, во второй пробе имитировалось нарушение целостности путем разрезания зерновок пополам. Для эксперимен-

та подготовлено по 15 мл каждой пробы (рис. 4). После микронизации в одинаковых условиях (время 60 с, высота расположения источника ИК-излучения 20 мм) объем первой пробы увеличился до 21 мл (рис. 5а), второй пробы – до 18,5 мл (рис. 5б).

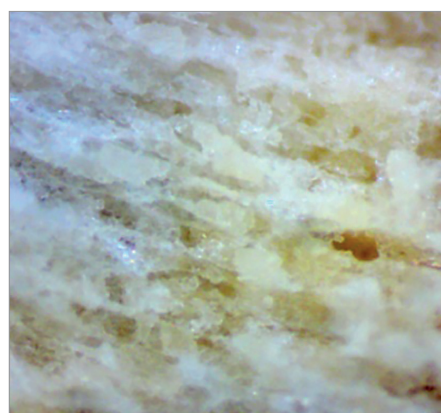


Рис. 3. Проявление капиллярной структуры зерновки ячменя после микронизации

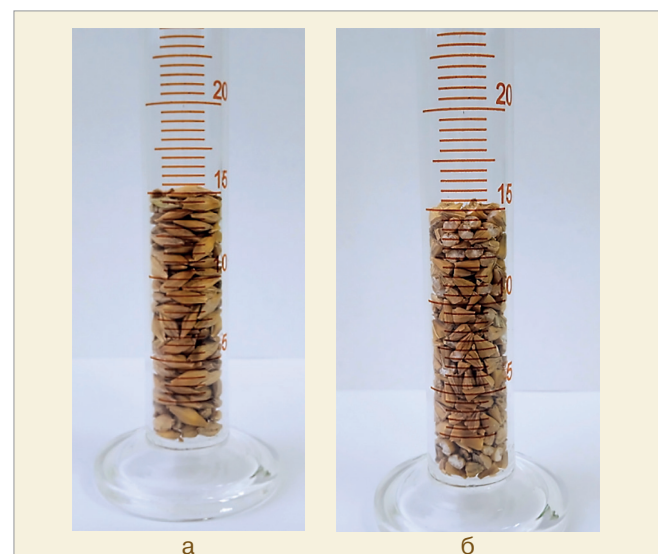


Рис. 4. Исходные пробы зерна:
а – целые зерна; б – поврежденные зерна

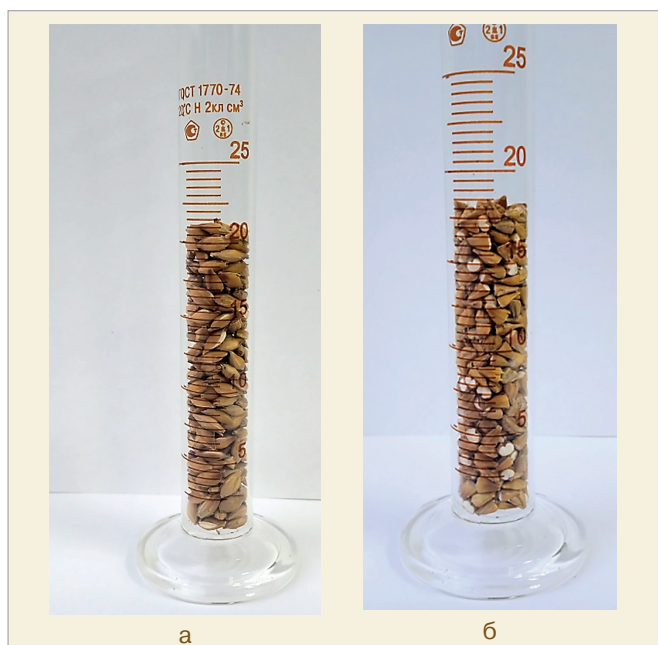


Рис. 5. Пробы зерна после микронизации:
а – целые зерна; б – поврежденные зерна

слоя или самой зерновки барьер между ее влагой и окружающим пространством исчезает и при нагреве зерна во время микронизации образовавшийся пар, не встречая сопротивления, покидает зерновку.

В условиях эксперимента, когда зерновки были разделены пополам, механизм расширения выглядит следующим образом: в плоскость разреза попали капилляры, влага из которых удалась при незначительном нагреве. Образовавшийся пар из нескольких слоев капилляров, прилегающих к разрезанным капиллярам, вышел из зерновки, не придав сильной деформации ее внутреннему строению. Пар, образовавшийся в более глубокой части разрезанной зерновки, оказал деформирующее воздействие сразу в трех направлениях (по толщине, ширине и вдоль продольной оси зерновки в сторону плоскости разреза), обеспечив некоторое вспучивание эндосперма в осевом направлении.

Отслоение семенной кожуры от поверхности зерновки после микронизации делает отшелушивание зерна менее энергозатратным, чем без обработки. Отшелушивание позволяет удалить поверхностный слой, не имеющий энергетической ценности, тем самым обеспечив своего рода энергетическое обогащение зернового материала [10-13].

При микронизации основным фактором, приводящим к деструкции внутренней структуры зерна, является работа, совершаемая паром, образующимся из влаги, находящейся в зерновке. Влага должна нагреться до температуры выше 100 °С для образования пара, способного вызвать расширение зерновки и разрушение ее целостности. Однако не всегда (в силу различных причин) зерновка получает необходимое количество теплоты для испарения внутренней влаги, что может быть связано с неправильным расположением источника излучения, вызванного, например, перекосом при монтаже либо неравномерным транспортированием зерна и т.д.

В результате недостаточного нагрева размеры зерновки не увеличиваются, что говорит о недостаточности микронизации [14]. В связи с отсутствием признаков микронизированности встает вопрос, что делать с зерном, размеры которого не увеличились с первой попытки: отправлять на повторную микронизацию либо на дальнейшую переработку?

Для проверки гипотезы о возможности повторной микронизации зерна, размеры которого не изменились после однократного облучения, имитировалась различная степень нагрева зерен перед повторной микронизацией. Предварительный нагрев осуществлялся в следующих режимах: высота источника 10 мм, напряжение на лампе 180 В, продолжительность нагрева 25, 33, 41 с.

Затем проводился повторный нагрев в режиме, который по результатам предварительных исследований давал наибольшее снижение усилия разрушения: высота источника 10 мм, напряжение 220 В, время 41 с. Измерялось среднее усилие разрушения одной зерновки в выборке из не менее чем 50 зерен. Сравнивалось с зерном, обработанным в номинальном режиме 41-220-10 без предварительного нагрева (контроль) – табл. 2.

Таблица 1. Размеры зерновок до и после микронизации

Этап эксперимента	Размеры зерновок ячменя, мм		
	ширина	толщина	соотношение
<i>Первая проба (целые зерновки)</i>			
До микронизации	3,70	2,82	1,32
После микронизации	4,55	3,62	1,26
Изменение размеров (±)	0,85	0,81	-0,06
<i>Вторая проба (поврежденные зерновки)</i>			
До микронизации	3,72	2,84	1,31
После микронизации	3,84	3,01	1,28
Изменение размеров (±)	0,12	0,16	-0,03

Для более точной оценки степени изменения размеров зерновок перед началом проведения микронизации были измерены толщина и ширина зерновок в обеих пробах (табл. 1).

Общий результат для обеих проб – увеличение размеров зерновок как по ширине, так и по толщине. Проверка достоверности различия по критерию Стьюдента показала, что микронизация с вероятностью 95% приводит к увеличению размеров зерновок, как целых, так и поврежденных. Общим является также округление зерновок после микронизации, т.е. уменьшается разница между шириной и толщиной. Отличительная черта – изменение размеров поврежденных зерновок меньше, чем изменение размеров целых, что подтвердило предварительные результаты при оценке изменения объема после микронизации.

Поверхность зерновки защищает зародыш и эндосперм от механических повреждений и потери влаги, находящейся внутри зерна. При разрушении поверхностного

Таблица 2. Усилие разрушения при повторной микронизации

Параметры	Режим обработки (культура)*			
Условия опыта	Р 25-180-10 / Я 25-180-10	Р 33-180-10 / Я 33-180-10	Р 41-180-1 / Я 41-180-10	Р 41-220-10 / Я 41-220-10
Усилие разрушения, Н	28 / 32	30 / 33	25 / 31	32 / 37
Дисперсия	136 / 86	150 / 73	98 / 69	226 / 110

Примечание: Р – рожь, Я – ячмень, 25-180-10 (25 – время облучения, с; 180 – напряжение на клеммах излучателя; 10 – расстояние источника излучения до поверхности, на которой расположены зерна).

В результате эксперимента установлено, что при повторном нагреве также происходит снижение усилия разрушения зерновки до уровня, близкого по значению к обработке на номинальном режиме, при уменьшении дисперсии значений, что говорит об их большей выровненности.

Выводы

1. В результате эксперимента установлено, что основной движущей силой, приводящей к увеличению размеров зерновки при микронизации, является избыточное давление пара, образующегося из влаги, находящейся в зерновке. При этом механические повреждения снижают степень изменения размеров зерновок.

2. Повторная микронизация зерен, нагрев которых был недостаточен для изменения внутреннего строения, позволит обеспечить необходимый уровень снижения усилия разрушения зерновок.

Список использованных источников

1. Сыроватка В.И. Микронизация фуражного зерна // Техника и технологии в животноводстве. 2014. № 4 (16). С. 206-212.
2. Сыроватка В.И. Перспективные технологии производства комбикормов // Зоотехния. 2016. № 10. С. 7-12.
3. Новикова В.А. Микронизация кормового зерна как способ подготовки его к скармливанию // Вест. КрасГАУ. 2008. № 2. С. 275-278.
4. McAllister T.A., Sultana H. Effects of micronization on the in situ and in vitro digestion of cereal grains // Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 2011.No. 24 (7). P. 929-939. DOI: 10.5713/ajas.2011.10387.
5. Мишуrow Н.П. Инновационные способы тепловой обработки комбикормов / Н.П. Мишуrow, С.А. Давыдова, А.А. Давыдов // Техника и оборудование для села. 2019. № 3. С. 2-7. DOI 10.33267/2072-9642-2019-3-2-7.
6. Andrejko D., Grochowicz J., Goździewska M., Kobus Z. Influence of infrared treatment on mechanical strength and structure of wheat grains // Food and Bioprocess Technology. 2011. № 4 (8). P. 1367-1375. DOI: 10.1007/s11947-009-0238-3.
7. Бабиченко Л.В. Исследование крахмала взорванных зерен с помощью сканирующего микроскопа // Известия вузов. Серия: Пищевая технология. 1973. № 6.
8. Зверев С.В. Высокотемпературная микронизация в производстве зернопродуктов. М.: ДеЛи принт, 2009. 224 с.
9. Зверев С.В. Моделирование процесса ИК нагрева зерна // Хранение и переработка сельхозсырья. 2005. № 12. С. 25-26.

10. Курдюмов В.И., Павлушин А.А., Зозуля И.Н., Сутягин С.А. Тепловая обработка зерна при производстве кормов // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. 2011. № 5. С. 17-18.

11. Антонов Н.М., Макевнина Е.И., Коробов И.А. Тепловая обработка зерна ячменя // Сельский механизатор. 2012. № 8. С. 26.

12. Зверев С. Повышение эффективности микронизации зерна / С. Зверев, В. Лигидов // Комбикорма. 2005. № 5. С. 28.

13. Зверев С. Линия обработки зерна на базе шелушителя и микронизатора / С. Зверев, В. Филин, Д. Филин // Комбикорма. 2002. № 1. С. 25.

14. Киприянов Ф.А. Размер зерновок как критерий достаточности микронизации / Ф.А. Киприянов, П.А. Савиных, И.И. Максимов // Известия СПб ГАУ. 2023. № 4(73). С. 107-115. DOI 10.24412/2078-1318-2023-4-107-115.

The Results of the Study of the Mechanism and Features of Micronization of the Feed Grain

F.A. Kipriyanov

(Vologda State Dairy Farming Academy)

P.A. Savinykh

(Federal Agrarian Scientific Center of the North-East)

Summary. The article presents the results of a study of changes in the structure of barley grains before and after micronization. The results of the experiment demonstrated that the main mechanism for changing the size of the grain and the destruction of its structure is the formation of steam from the moisture contained in the grain. The results obtained also confirmed the theory of the capillary structure of the grain. The effect of mechanical damage on the degree of change of the grain in its size was evaluated. Studies were conducted to verify the feasibility of repeated micronization of the feed grain.

Key words: micronization, grain, breaking force, feed grain, size change, capillary structure.



УДК 636.08

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-11-28-32

Результаты эффективности подавления цист кишечных патогенов простейших механическими колебаниями на частоте ультразвука в свином бесподстилочном навозе

Н.В. Лимаренко,

д-р техн. наук, доц., проф. кафедры

(ФГБОУ ВО Донской ГТУ),

проф. кафедры,

limarenkodstu@yandex.ru

(ФГБОУ ВО РГАТУ имени П.А. Костычева);

И.А. Успенский,

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой,

ivan.uspensckij@yandex.ru

И.А. Юхин,

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой,

ivan.uspensckij@yandex.ru

(ФГБОУ ВО РГАТУ имени П.А. Костычева);

Е.В. Митрохина,

канд. техн. наук, ст. препод.,

k.mitroxina2011@yandex.ru

(ФКОУ ВО «Академия ФСИН»);

С.В. Митрохин,

аспирант,

serg.m1trohin@yandex.ru

(ФГБОУ ВО РГАТУ имени П.А. Костычева)

камере совместно с продолжительностью воздействия и концентрацией пероксида водорода.

Ключевые слова: свиной бесподстилочный навоз, обеззараживание, оценка удельной энергоёмкости обеззараживания, органические отходы, пероксид водорода.

Исследование выполнено в рамках Госзадания Министерства сельского хозяйства Российской Федерации на тему: «Разработка цифровой платформы повышения энергетической эффективности при обеззараживании бесподстилочного навоза».

Постановка проблемы

Согласно данным Российского экологического оператора, в настоящее время в Российской Федерации образовалось свыше 45 млн т отходов животноводства, которые могут быть эффективно использованы [1-3], например, при получении органических удобрений из биомассы и навоза при переработке их в сапропель, перегной, гранулированный помет, минерализованную воду и жидкую подкормку, применяемые для удобрения почвы и растений, которые позволяют сформировать плодородный слой [3, 4]. От первоначального состава навоза зависит, каким образом он будет использоваться в качестве удобрения: его вносят сразу на поля или дополнительно обрабатывают до перегнивания. Проблема экологически безопасного использования отходов заключается в необходимости их эффективного обеззараживания.

Повышение эффективности обеззараживания навоза является актуаль-

ной и значимой задачей для науки и техники, требующей комплексного подхода. Учитывая высокие объёмы жидкой фракции влажностью свыше 80%, необходимо совершенствование существующих способов обеззараживания, что предполагает решение оптимизационной задачи, позволяющей определить сочетания факторов, обеспечивающих максимальный обеззараживающий эффект при минимальных издержках [4, 5]. Отсутствие формализованной математической модели, позволяющей сделать обоснованный расчет эффективности обеззараживания жидкой фракции навоза, делает данное исследование актуальным.

Цель исследования – получение математической модели влияния выбранных факторов на ЦКПП при обеззараживании свиного бесподстилочного навоза механическими колебаниями на частоте ультразвука в сочетании с пероксидом водорода.

Материалы и методы исследования

Ввиду ограниченности ресурсов и сложности проводимых экспериментальных исследований было принято решение использовать математическую теорию планирования эксперимента. Преимуществами данного инструмента является возможность получения наилучшего доступного результата при минимальном числе повторностей опытов. При проведении экспериментальных исследований были выбраны следующие факторы и диапазоны варьирования [6].

Первым этапом планирования эксперимента был выбор факторов

Аннотация. Описана математическая модель влияния выбранных факторов на число цист кишечных патогенных простейших (ЦКПП) при обеззараживании механическими колебаниями на частоте ультразвука в сочетании с пероксидом водорода, повышающим эффективность обеззараживания свиного бесподстилочного навоза. Модель позволяет прогнозировать влияние температуры среды в рабочей камере совместно с продолжительностью экспозиции и заданной концентрацией пероксида водорода на количество ЦКПП в органических отходах свиноводства. Оценка адекватности приведенной модели с помощью методов статистической проверки гипотез позволяет говорить о том, что число ЦКПП при обеззараживании механическими колебаниями на частоте ультразвука в сочетании с пероксидом зависит от температуры среды в рабочей

Таблица 1. Факторы, уровни варьирования и их «звёздные точки»

Варьируемые факторы	Диапазон варьирования			Обозначение		Звёздные точки	
	-1	0	+1	натуральное	кодированное	Δx_i	Δx_i нат.
Продолжительность экспозиции, мин	5	10	15	$t_{эк}$	X_1	5	7,07
Температура среды в рабочей камере, °C	20	40	60	t	X_2	20	28,28
Концентрация пероксида водорода, мг/л	10	20	30	ω	X_3	10	14,14

и уровней их варьирования. Факторы, уровни варьирования и их «звёздные точки» представлены в табл. 1. Для получения наиболее достоверного результата было принято решение о варьировании выбранных факторов по пяти уровням с использованием «звёздных точек» [6, 7]. Уровни варьирования факторов приняты на основании анализа априорной информации, а также результатов предварительных исследований [6, 8-10].

После выбора факторов и уровней их варьирования были выбраны параметры, определяющие энергетическую и санитарно-эпидемиологическую эффективность (качество) воздействия (табл. 2).

Цель экспериментальных исследований – формализация влияния выбранных факторов, их уровней варьирования на выбранные параметры качества. Для удовлетворения поставленных условий был выбран трехфакторный центральный композиционный план Бокса-Бенкена со «звёздными точками». Матрица плана эксперимента в кодированных и натуральных переменных с откликами, зафиксированными опытным путём, представлена в табл. 3.

Результаты исследований и обсуждение

После проведения экспериментальных исследований и расчётов оценок коэффициентов факторов были получены математические модели в форме квадратичных полиномов. Каноническая форма квадратичного полинома была выбрана на основании результатов исследований, описанных в работах [4, 6, 10].

Влияние рассмотренных факторов на число ЦКПП при интенсификации

Таблица 3. Матрица планирования в кодированных переменных

№	Факторы кодированные				Факторы натуральные			Отклики натуральные	
	X_0	X_1	X_2	X_3	$t_{эк}$	t	ω	$C_{кпн}$	$Asca$
1	1	-1	-1	-1	5	20	10	12	11
2	1	-1	-1	1	5	20	30	14	11
3	1	-1	1	-1	5	60	10	15	10
4	1	-1	1	1	5	60	30	12	6
5	1	1	-1	-1	15	20	10	8	5
6	1	1	-1	1	15	20	30	7	5
7	1	1	1	-1	15	60	10	8	4
8	1	1	1	1	15	60	30	2	2
9	1	-1,41	0	0	2,93	40	20	17	2
10	1	1,41	0	0	17,07	40	20	6	5
11	1	0	-1,41	0	10	11,72	20	10	4
12	1	0	1,41	0	10	68,28	20	5	2
13	1	0	0	-1,41	10	20	5,86	12	7
14	1	0	0	1,41	10	20	34,14	0	0
15	1	0	0	0	10	20	10	9	3
16	1	0	0	0	10	20	10	10	5

обеззараживания механическими колебаниями на частоте ультразвука в сочетании с пероксидом формализуется моделью, экз/100 мл:

$$C_{кпн} = 10,19 + 57,22 \cdot x_1^2 + 42,36 \cdot x_2^2 + 43,77 \cdot x_3^2 - 0,75 \cdot x_1 \cdot x_3. \quad (1)$$

Анализ позволил установить, что наиболее значимыми факторами, оказывающими влияние на число ЦКПП при обеззараживании механическими колебаниями на частоте ультразвука в сочетании с пероксидом, являются: квадратичные значения продолжительности экспозиции, температуры среды в рабочей камере и концентрации пероксида водорода, а также линейный парный межфакторный эффект взаимодействия продолжительности экспозиции совместно с концентрацией пероксида водорода. Исходя из этого, математическая

Таблица 2. Параметры, характеризующие качество выполнения операции

Параметры качества	Обозначение	
	натуральное	кодированное
Цисты кишечных патогенных простейших (ЦКПП), экз/100 мл	$C_{кпн}$	Y_2
Яйца и личинки гельминтов, экз/100 мл	$Asca$	Y_3

модель (1) представлена после исключения функций статистически незначимых переменных. В табл. 4 представлены результаты дисперсионного анализа математической модели (1) со значениями дисперсии воспроизводимости, среднеквадратического отклонения и критерия Стьюдента по коэффициентам модели.

Следующим этапом оценки достоверности являлась проверка модели (1) в соответствии с критерием Фишера. Результаты оценки статистической значимости модели по критерию Фишера представлены в табл. 5.

На рис. 1 представлен общий вид аппроксимирующей функции в трёхмерном пространстве, демонстрирующий зависимость ЦКПП от температуры среды в рабочей камере и продолжительности экспозиции, графическая интерпретация полученных результатов – на рис. 2-3.

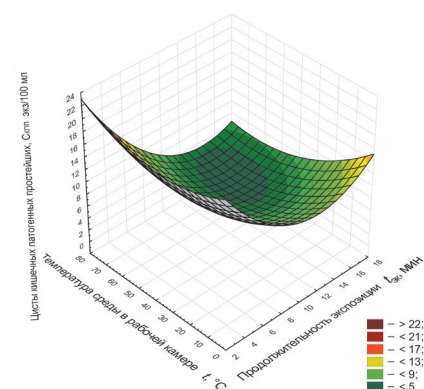


Рис. 1. Аппроксимация зависимости ЦКПП от температуры среды в рабочей камере и продолжительности экспозиции

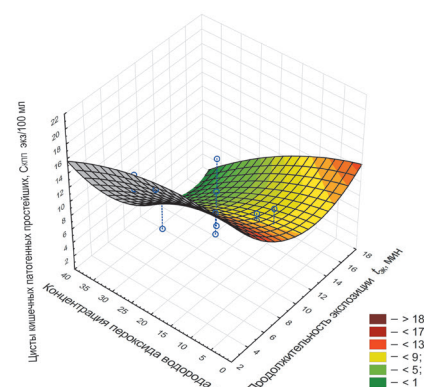


Рис. 2. Зависимость ЦКПП от концентрации пероксида водорода и продолжительности экспозиции

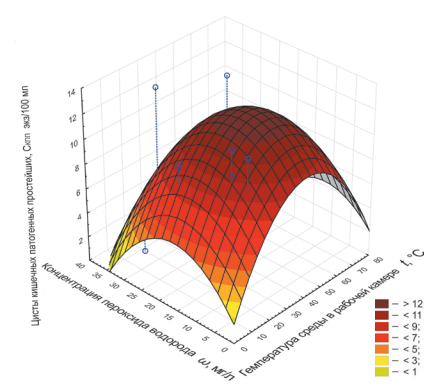


Рис. 3. Зависимость ЦКПП от концентрации пероксида водорода и температуры среды в рабочей камере

Анализ результатов, представленных в табл. 5, позволил сделать вывод: математическая модель (1) адекватно формализует влияние выбранных факторов на число ЦКПП

Таблица 4. Результаты дисперсионного анализа модели

№	Дисперсия воспроизводимости по коэффициентам		Средние квадратические отклонения по коэффициентам		Значение критерия Стьюдента по коэффициентам	
1	$S_{b_0'}^2$	6,265625	$S_{b_0'}$	2,503123049	$t_{b_0'}$	4,069915781
2	$S_{b_1}^2$	8,354166667	S_{b_1}	2,890357533	t_{b_1}	1,255794733
3	$S_{b_2}^2$	8,354166667	S_{b_2}	2,890357533	t_{b_2}	0,319195454
4	$S_{b_3}^2$	8,354166667	S_{b_3}	2,890357533	t_{b_3}	0,719938695
5	$S_{b_{12}}^2$	12,53125747	$S_{b_{12}}$	3,539950565	$t_{b_{12}}$	0,211867365
6	$S_{b_{13}}^2$	12,53125014	$S_{b_{13}}$	3,539950565	$t_{b_{13}}$	0,211867365
7	$S_{b_{23}}^2$	12,53125445	$S_{b_{23}}$	3,539950565	$t_{b_{23}}$	0,353112276
8	$S_{b_{11'}}^2$	10,53630737	$S_{b_{11'}}$	3,245967864	$t_{b_{11'}}$	17,62932004
9	$S_{b_{22'}}^2$	10,53630737	$S_{b_{22'}}$	3,245967864	$t_{b_{22'}}$	13,05027587
10	$S_{b_{33'}}^2$	10,53630737	$S_{b_{33'}}$	3,245967864	$t_{b_{33'}}$	13,48528507

Таблица 5. Результаты оценки статистической значимости модели по критерию Фишера

№	Отклик, y	Расчетный отклик, y_i	$(y - y_i)^2$	Дисперсия адекватности, $S_{ад}^2$	Расчетное значение критерия Фишера, F_p	Критическое значение критерия Фишера, $F_{кр}$
1	12,00	157,4284	21149,4339	18596,7436	185,5037	243,9060
2	14,00	157,2667	20525,3441			
3	15,00	159,5833	20904,3224			
4	12,00	154,4215	20283,8868			
5	8,00	153,1691	21074,0553			
6	7,00	150,0073	20451,0871			
7	8,00	152,3239	20829,3823			
8	2,00	144,1621	20210,0682			
9	17,00	129,7691	12716,8649			
10	6,00	119,5027	12882,8737			
11	10,00	96,2138	7432,8176			
12	5,00	93,6043	7850,7245			
13	12,00	100,6759	7863,4175			
14	0,00	94,7903	8985,2000			
15	9,00	10,1875	1,4102			
16	10,00	10,1875	0,0352			

при обеззараживании механическими колебаниями на частоте ультразвука в сочетании с пероксидом, так как расчётное значение критерия Фишера меньше критического. Исследуемые параметры качества (см. рис. 2-3) нелинейно зависят от выбранных факторов, соответственно, для того чтобы исключить принятие «локального» экстремума за «глобальный», необходимо решение оптимизационной задачи, позволяющей определить сочетание факторов, обеспечивающих минимальные энергозатраты.

Влияние рассмотренных факторов на число яиц и личинок гельминтов при интенсификации их обеззаражи-

вания механическими колебаниями на частоте ультразвука в сочетании с пероксидом формализуется моделью, экз/100 мл:

$$Asca = 6,13 + 18,80 \cdot x_1^2 + 18,13 \cdot x_2^2 + 20,29 \cdot x_3^2 - 0,75 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (2)$$

Дисперсионный анализ математической модели (2) с определением значений дисперсии воспроизводимости, среднего квадратического отклонения и критерия Стьюдента по коэффициентам модели осуществлялся по методике, аналогичной модели (1). Анализ результатов дисперсионного

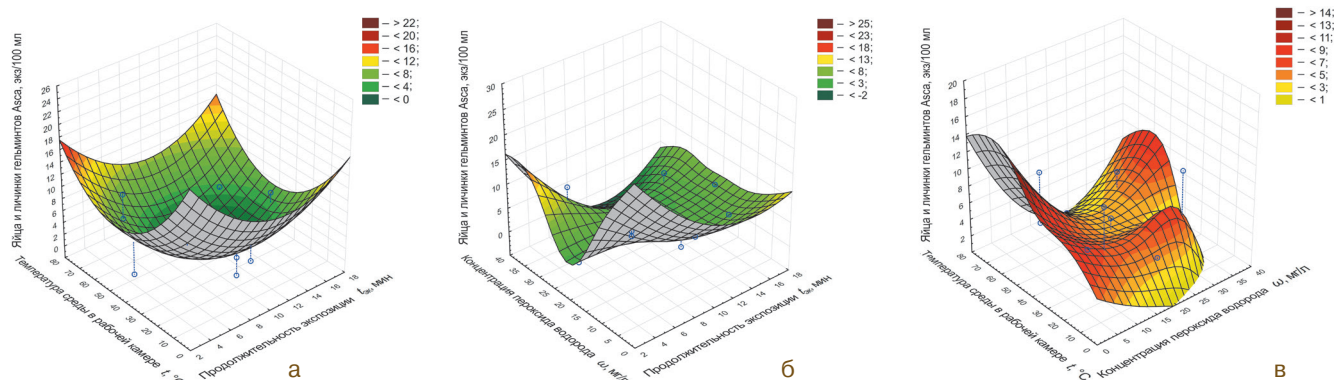


Рис. 4. Зависимость числа яиц и личинок гельминтов от температуры среды в рабочей камере и продолжительности экспозиции (а), от концентрации пероксида водорода и продолжительности экспозиции (б), от концентрации пероксида водорода и температуры среды в рабочей камере (в)

анализа позволил установить, что наиболее значимыми факторами, оказывающими влияние на число ЦКПП при обеззараживании механическими колебаниями на частоте ультразвука в сочетании с пероксидом, являются: квадратичные значения продолжительности экспозиции, температуры среды в рабочей камере и концентрации пероксида водорода, а также линейный парный межфакторный эффект взаимодействия температуры среды в рабочей камере совместно с концентрацией пероксида водорода. Исходя из этого, математическая модель (2) представлена после исключения функций статистически незначимых переменных.

Следующим этапом оценки достоверности являлась проверка модели (2) в соответствии с критерием Фишера. Результаты оценки статистической значимости модели по критерию Фишера, методика которой аналогична предыдущей модели: расчётное значение критерия Фишера – $F_p = 114,6149$, критическое значение – $F_p = 243,9060$ при дисперсии адекватности $S_{ад}^2 = 2979,9862$. Ввиду того, что выполняется условие $F_p < F_{кр}$, можно сделать вывод об относительной достоверности полученной модели. Графическая интерпретация полученных результатов представлена на рис. 4.

Как показал анализ графических зависимостей (см. рис. 4), исследуемые параметры качества нелинейно зависят от выбранных факторов. Соответственно, для того чтобы исключить принятие «локального» экстремума за «глобальный», необходимо решение

оптимизационной задачи, позволяющей определить сочетание факторов, обеспечивающих минимальные энергозатраты.

Выводы

1. Получена математическая модель в виде полинома второго порядка, позволяющая оценить влияние температуры среды в рабочей камере совместно с продолжительностью экспозиции и заданной концентрацией (экз/100 мл) пероксида водорода на число ЦКПП.

2. Наиболее значимыми факторами, оказывающими влияние на число цист кишечных патогенных простейших при обеззараживании механическими колебаниями на частоте ультразвука в сочетании с пероксидом, являются: квадратичные значения продолжительности экспозиции, температуры среды в рабочей камере и концентрации пероксида водорода, а также линейный парный межфакторный эффект взаимодействия продолжительности экспозиции совместно с концентрацией пероксида водорода.

3. Получены математические модели (1), (2), адекватно формализующие влияние выбранных факторов на ЦКПП при обеззараживании механическими колебаниями на частоте ультразвука в сочетании с пероксидом, обеспечивая минимальные издержки.

Список

использованных источников

1. Российский Экологический Оператор. Реестр решений: официальный сайт. URL:

<https://it.reo.ru/solutions/> (дата обращения 25.08.2024).

2. Комарова Е.В. Современные проблемы применения отходов животноводства в качестве удобрения: анализ правового поля / Е.В. Комарова, А.В. Слабунова // Экология и водное хоз-во. 2021. Т. 3. № 4. С. 27-45. DOI 10.31774/2658-7890-2021-3-4-27-45.

3. Комарова Е.В. Экологически безопасные технологии подготовки животноводческих стоков / Е.В. Комарова, М.А. Ляшков // Экология и водное хоз-во. 2021. Т. 3. № 3. С. 72-88. DOI 10.31774/2658-7890-2021-3-3-72-88.

4. Баширов В.Д. Особенности процесса утилизации навоза и помета сельскохозяйственных животных с получением органоминерального удобрения / В.Д. Баширов, А.В. Московец, Р.Ф. Сагитов // БИО. 2019. № 4 (223). С. 24-28.

5. Брюханов А.Ю. Инструмент для мониторинга экологического состояния и устойчивого развития сельскохозяйственного производства / А.Ю. Брюханов [и др.] // Техника и технологии в животноводстве. 2023. № 1 (49). С. 78-84.

6. Экспериментальная оценка достоверности оптимальных параметров активатора обеззараживания жидких отходов животноводства / Н.В. Бышов, И.А. Успенский, И.А. Юхин, Н.В. Лимаренко // Техника и оборудование для села. 2019. № 8(266). С. 28-31. DOI 10.33267/2072-9642-2019-8-28-31.

7. Цифровой инструмент седиментационного анализа свиного бесподстилочного навоза / Н.В. Лимаренко, А.В. Шемякин, С.Н. Борычев [и др.] // Техника и оборудование для села. 2023. № 10(316). С. 26-30. DOI 10.33267/2072-9642-2023-10-26-30.

8. Дрововозова Т.И. Исследование бактерицидной активности пероксида водорода в сточных водах / Т.И. Дрововозова,

Н.Н. Паненко, Е.С. Кулакова // Междунар. научно-исследовательский журнал. 2016. № 7-4 (49). С. 18-21.

9. Сиволобова Н.О. Интенсификация процесса обеззараживания с использованием пероксида водорода / Н.О. Сиволобова, В.Е. Коротичкая // Актуальные аспекты развития науки и общества в эпоху цифровой трансформации. 2023. С. 117-121.

10. Контаминация индикаторов оценки санитарно-эпидемиологических свойств свиного бесподстилочного навоза и навозных стоков / А.В. Шемякин, Н.В. Лимаренко, И.А. Юхин [и др.] // Вестник Рязанского ГАТУ им. П.А. Костычева. 2023. Т. 15. №4. С. 173-180. DOI 10.36508/RSATU.2023.96.45.024.

Results of the Effectiveness of Suppression of Intestinal Pathogenic Protozoan Cysts by Mechanical Vibrations at Ultrasound Frequency in the Pig Liquid Manure

N.V. Limarenko

(Don State Technical University,
Ryazan State Agrarian Technical University named
after P. A. Kostychev)

I.A. Uspensky, I.A. Yukhin

(Ryazan State Agrarian Technical University
named after P. A. Kostychev)

E.V. Mitrokhina

(FSIN Academy)

S.V. Mitrokhin

(Ryazan State Agrarian Technical
University named
after P. A. Kostychev)

Summary. The paper describes a mathematical model for evaluation of the influence of the selected factors on the number of intestinal pathogenic protozoan cysts (IPC) during disinfection by mechanical oscillations at ultrasound frequency in combination with hydrogen peroxide which increases the efficiency of disinfection of the pig liquid manure. The model allows predicting the influence of the ambient temperature in the working chamber together with the exposure time and the specified concentration of hydrogen peroxide on the number of IPCs in organic pig waste. Evaluation of the adequacy of the presented model using statistical hypothesis testing methods allows us to say that the number of IPCs during disinfection by mechanical oscillations at ultrasound frequency in combination with peroxide depends on the ambient temperature in the working chamber together with the exposure time and the concentration of hydrogen peroxide.

Key words: pig liquid manure, disinfection, assessment of specific energy consumption of disinfection, organic waste, hydrogen peroxide.

Реферат

Цель исследования – получение математической модели влияния выбранных факторов на число цист кишечных патогенных простейших (ЦКПП) при обеззараживании механическими колебаниями свиного бесподстилочного навоза на частоте ультразвука в сочетании с пероксидом водорода. Описана математическая модель ЦКПП, которая позволяет прогнозировать влияние температуры среды в рабочей камере совместно с продолжительностью экспозиции и заданной концентрацией пероксида водорода на количество ЦКПП в органических отходах свиноводства. Оценка адекватности приведенной модели выполнена с помощью методов статистической проверки гипотез. Формализация влияния выбранных факторов, уровней их варьирования на выбранные параметры качества проверялась экспериментальными исследованиями, при проведении которых были выбраны факторы и диапазоны варьирования. Для получения наиболее достоверного результата было принято решение о варьировании выбранных факторов по пяти уровням с использованием «звёздных точек». Уровни варьирования факторов приняты на основании анализа априорной информации, а также результатов предварительных исследований. Для удовлетворения поставленных условий был выбран трехфакторный центральный композиционный план Бокса-Бенкена со «звёздными точками», составлена матрица плана эксперимента в кодированных и натуральных переменных с откликами, зафиксированными опытным путём. Наиболее значимыми факторами, оказывающими влияние на число цист кишечных патогенных простейших при обеззараживании механическими колебаниями на частоте ультразвука в сочетании с пероксидом, являются квадратичные значения продолжительности экспозиции, температуры среды в рабочей камере и концентрации пероксида водорода, а также линейный парный межфакторный эффект взаимодействия продолжительности экспозиции совместно с концентрацией пероксида водорода.

Abstract

The purpose of the study is to obtain a mathematical model of the influence of the selected factors on the number of cysts of intestinal pathogenic protozoa (IPC) during disinfection with mechanical vibrations of pig liquid manure at an ultrasound frequency in combination with hydrogen peroxide. A mathematical model of IPCs is described, which allows predicting the influence of the ambient temperature in the working chamber together with the exposure time and a given concentration of hydrogen peroxide on the amount of IPCs in organic waste of pig farming. The adequacy of the presented model is assessed using statistical hypothesis testing methods. Formalization of the influence of the selected factors and their variation levels on the selected quality parameters was verified by experimental studies, during which factors and variation ranges were selected. To obtain the most reliable result, it was decided to vary the selected factors at five levels using “star points”. The levels of factor variation were adopted based on the analysis of a priori information, as well as the results of preliminary studies. To meet the specified conditions, a three-factor Box-Behnken central composite design with “star points” was selected, the matrix of the experimental design was compiled in coded and natural variables with responses recorded empirically. The most significant factors influencing the number of cysts of intestinal pathogenic protozoa during disinfection achieved by mechanical vibrations at the ultrasound frequency in combination with peroxide are the quadratic values of exposure time, ambient temperature in the working chamber and hydrogen peroxide concentration, as well as the linear paired interfactorial effect of the interaction of exposure time together with the hydrogen peroxide concentration.

УДК 004.94, 637.02

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-11-33-36

Создание цифрового двойника линии по производству сыров на основе технологии виртуальной реальности

А.В. Бабкина,
канд. экон. наук, доц., доцент кафедры,
babkina@rgau-msha.ru

А.Н. Мартеха,
канд. тех. наук, доц., доцент кафедры,
man6630@rgau-msha.ru

В.В. Торопцев,
канд. тех. наук, доц.,
toroptsev@rgau-msha.ru
(ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА
имени К.А. Тимирязева);

Е.Н. Залесская,
канд. физ.-мат. наук, доц., декан,
mf@vsu.by

Е.А. Корчевская,
канд. физ.-мат. наук, доц., зав. кафедрой,
mf@vsu.by
(Витебский государственный университет
имени П.М. Машерова)

Аннотация. Рассмотрены основные стадии жизненного цикла проекта, представлено его расписание в виде диаграммы Ганта. Предложена методика по проектированию линии с использованием технологии виртуальной реальности, состоящая из четырех этапов: проектирование 3D CAD-модели, импорт модели, создание сцены, тестирование системы. Для оценки подхода проведено анкетирование пользователей, доказывающее необходимость применения цифрового двойника для проектирования линии по производству сыров.

Ключевые слова: цифровой двойник, виртуальная реальность, 3D-моделирование, ИТ-проект, линия по производству сыров, агропромышленный комплекс.

Постановка проблемы

В современном мире для сохранения конкурентного преимущества на рынке важно оперативно реагировать на изменения, а также адаптироваться к ним. С развитием Индустрии 4.0 одним из ключевых факторов повышения эффективности производства организаций, минимизации рисков, затрат и повышения производительности ста-

новится применение информационных технологий. Одной из таких технологий является цифровой двойник – цифровая копия объекта или процесса, позволяющая оптимизировать эффективность бизнес-процессов [1, 2].

Производство и переработка сельхоз-продукции требуют наличия необходимого оборудования, которое постоянно совершенствуется. Процесс проектирования производственных линий является достаточно сложным и требует наличия междисциплинарных навыков при определении требований и ограничений между зависимыми объектами, управления крупномасштабной компоновкой, интеграции аппаратного и программного обеспечения и реализации совместной работы человека и оборудования. Дополнительная проблема – длительный срок реализации проектов (около 2-3 лет), в течение которого могут измениться требования к ним.

Для решения данных проблем можно использовать цифровые двойники, основанные на технологии виртуальной реальности, что позволит выявить проблемы на ранних стадиях проектирования, тем самым сократив сроки вывода продукта на рынок, снизив затраты и повысив производительность [3, 4].

Цель исследования – разработка методологического подхода к созданию цифрового двойника производственной линии на основе технологии виртуальной реальности, а также его апробация.

Материалы и методы исследования

Для достижения поставленной цели необходимо: рассмотреть методологию проектирования информационных систем, составить расписание реализации проекта; спроектировать 3D CAD-модели оборудования производственной линии по производству сыров, импортировать их в среду виртуальной реальности; разработать реалистичную симуляцию линии и обосновать целесообразность предложенной методики.

ИТ-проект применяется для отображения деятельности, которая связана с созданием или применением информационной технологии, в нашем исследовании – с применением технологий 3D-моделирования и виртуальной реальности. Запуск нового ИТ-проекта подразумевает создание модели жизненного цикла, которая состоит из пяти стадий: планирование проекта, проектирование системы, ее разработка и внедрение, утилизация и обновление, эксплуатация и поддержка системы [5].

Процесс разработки плана проекта заключается в документации действий, необходимых для определения, подготовки, интеграции и координации всех вспомогательных планов, и начинается с формирования списка работ. Схематическое отображение операций проекта и логические взаимосвязи между ними представляются в виде диаграммы Ганта (рис. 1).

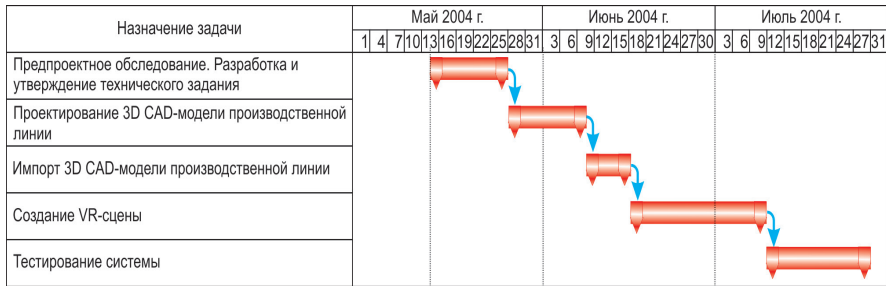


Рис. 1. Расписание проекта

Диаграмма Ганта состоит из пяти этапов: предпроектное обследование и разработка технического задания; проектирование 3D CAD-модели производственной линии; импорт модели; создание VR-сцены; тестирование системы.

На этапе предпроектного обследования, разработки и утверждения технического задания происходит сбор данных и структурирование программного обеспечения, анализ помещений и оборудования производственной линии, написание и согласование техзадания, классификация программного обеспечения.

Так как диаграмма Ганта использует горизонтальные полосы для представления операций проекта, показывая даты начала и окончания работ, следовательно, основные ее этапы относятся к стадии проектирования системы: проектирование 3D CAD-модели производственной линии, ее импорт, создание VR-сцены.

После разработки программного обеспечения для визуального представления производственной линии в целях выявления допущенных ошибок необходимо провести тестирование ИТ-продукта: автономное, комплексное и системное или оценочное. Устранив имеющиеся недостатки, можно переходить к процессу внедрения системы в деятельность организации, при этом разработчикам необходимо в течение всего срока эксплуатации программного продукта сопровождать его: вносить изменения в целях исправления ошибок или повышения производительности системы, а также адаптировать ее к изменяющимся требованиям или условиям работы.

Проектирование системы является ключевой стадией жизненного цикла ИТ-проекта, которое для нашего проекта начинается с создания 3D CAD-модели производственной линии. Далее происходит импорт модели в выбранную среду разработки и последующее представление ее в виде виртуальной сцены (рис. 2).

Инструменты виртуальной реальности обеспечивают хорошее пространственное представление и используются с традиционными инструментами проектирования, такими как

1. Проектирование 3D CAD-модели	2. Импорт модели	3. Создание сцены	4. Тестирование
- спроектировать 3D CAD-модель производственной линии; - экспортировать модель из CAD-системы в требуемый формат (STL, ASM, STEP, JT, FBX, OBJ)	- настроить параметры модели виртуальной среды; - импортировать 3D-модель в виртуальную среду; - настроить параметры модели	- настроить цвет, текстуру и свойства материала, а также освещение; - настроить кинематическую анимацию; - назначить объектам взаимодействия и установить их взаимосвязь с контроллером	- подготовить помещение и устройство для сеанса виртуальной реальности; - провести VR-анализ проекта, выявить возможные проблемы с дизайном; - проанализировать результаты обзора виртуальной реальности

Рис. 2. Этапы процесса проектирования системы

системы автоматизации проектных работ (САПР), инструменты моделирования.

В качестве объекта исследования выбрана типовая линия по производству сыров. Сыроварня занимает площадь 120 м² и оснащена всем необходимым оборудованием: сыродельный чан рабочим объемом 200 л, дренажный стол для отделения сыворотки, формовочный стол, вертикальный пневматический пресс для сырных форм, соляный бассейн, аксессуары (лиры, формы для сыра).

Для реализации проекта по проектированию линии по производству сыров с помощью технологии виртуальной реальности было выбрано следующее программное обеспечение: Microsoft Project (управление жизненным циклом продукта), T-FLEX CAD (3D-моделирование), Unity3D (платформа виртуальной реальности).

3D-моделирование состоит в процессе создания трехмерного графического изображения какого-либо объекта [6, 7], в его основе лежит математическая модель с определенными параметрами. Процесс моделирования заключался в реализации трех этапов:

1. *Создание геометрической модели.* После проведения расчетов размеров и формы оборудования были спроектированы пространственные геометрические модели объектов. На данном этапе использовались методы вращения, наращивания, полигонального моделирования;

2. *Создание текстуры.* Для реалистичного восприятия создаваемой модели были подобраны материалы, а также их текстура;

3. *3D-визуализация.* Заключительный этап, на котором осуществлялось уточнение всех настроек отображения

модели, а также добавление специальных эффектов (блики, тени и др.) [8, 9].

Результаты исследований и обсуждение

В результате моделирования были спроектированы 3D-модели сыродельного чана, дренажного стола для отделения сыворотки, формовочного стола, пресса для сыра, соляного бассейна, а также необходимых аксессуаров (рис. 3).

Файлы САПР были экспортированы в формате OBJ, так как платформа виртуальной реальности Unity3D поддерживает данный вид файлов, а также имеет ряд преимуществ: является простым и открытым, имеет широкую поддержку импорта и экспорта различного программного обеспечения САПР, достаточно легкий и небольшой по размеру из-за собственного двоичного кодирования, что позволяет повысить производительность проектируемой системы.

Далее спроектированные 3D CAD-модели импортировались на платформу виртуальной реальности Unity3D. В связи с тем, что при импорте файлов могут потеряться такие данные, как материалы, анимация, свет и камера, перед использованием моделей важно оптимально настроить их параметры за счет встроенных в платформу методов редактирования: позиционирование модели – изменение ее положения в сцене с помощью инструментов перемещения; масштабирование – изменение пропорций модели и адаптация ее под требования проекта; поворот – изменение ориентации или выравнивание модели с другими объектами в сцене; изменение материала (осуществляется за счет применения новых текстур, изменения цвета или настраивания

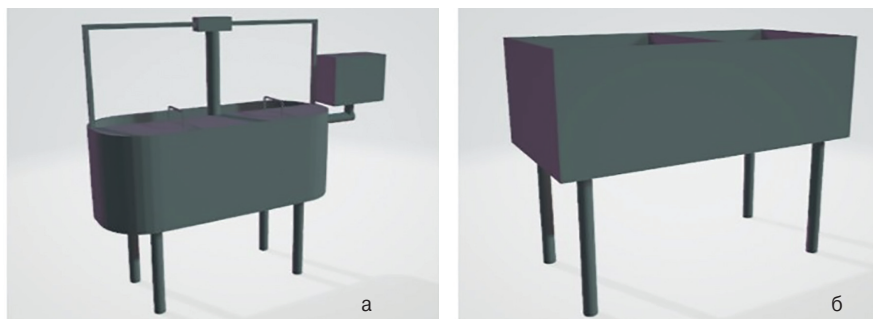


Рис. 3. Примеры 3D-моделей оборудования для сыроварни:
а – сыродельный чан; б – дренажный стол для отделения сыворотки

отражения и прозрачности), анимация модели – определение кадровой анимации, настройка тайминга, добавление переходов и др.; оптимизация модели – удаление ненужных деталей, сокращение количества полигонов или объединение частей модели [10].

После настройки всех необходимых параметров моделей можно переходить к созданию сцен для визуального представления объекта исследования. Целью данного этапа является проектирование реалистичной симуляции линии по производству сыров, которая позволит использовать виртуальный опыт в качестве инструмента принятия решений для выявления проблем, поиска решений, упрощения демонстрации, а также маркетинга. Во-первых, были установлены текстура, материал, цвет и освещение в соответствии со спецификой дизайна сыроварни (рис. 4).

Во-вторых, в связи с тем, что манипулирование объектами является ключевым аспектом моделирования, поскольку оно служит для оценки взаимодействия человека и машины, были определены следующие основные взаимодействия. Смотреть и ходить – функции, позволяющие видеть сцену и перемещаться по ней. Помогают имитировать маршруты сотрудников сыроварни для достижения ключевых позиций. Телепортация – сверхъестественные функции, позволяющие пользователям мгновенно перемещаться в пространстве. Прикосновение и захват – функции, имитирующие естественное взаимодействие захватывающих и движущих объектов с гравитационным или кинематическим моделированием и без него. Используются для воспроизведения действий сотрудников сыроварни. Другие конкретные задачи – функции,

которые реализуют специфические взаимодействия, такие как нажатие кнопки для запуска оборудования, установка таймера с помощью виртуального ЖК-дисплея, изменение объектов в процессе производства и т.д.

Учитывая сложность производственной линии, особое внимание было уделено команде «захват», которая позволяет пользователю воспринимать взаимосвязь с окружающей средой так, как если бы она была реальной. Еще одним важным аспектом создания сцены является дизайн взаимодействия. На основе анализа требований и конкретной цели моделирования виртуальной реальности сцена может иметь различные схемы взаимодействия. Существует два распространенных подхода: точка зрения третьего лица, которая позволяет пользователю виртуальной реальности выступать в роли наблюдателя; точка зрения сотрудника, которая позволяет пользователю виртуальной реальности выполнять задачи так, как это происходит на реальной производственной линии (использована в нашем проекте) [11, 12].

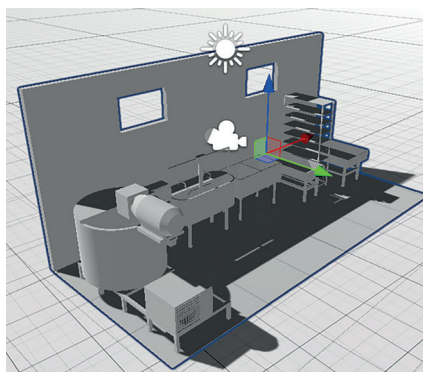


Рис. 4. Пример общего вида сыроварни, созданной виртуальной сценой

Также в виртуальную сцену была включена конкретная задача взаимодействия – обучение с помощью голограмм. Для каждого объекта, участвующего в цикле производства сыров, была создана отдельная голограмма, которая позволяет пользователю ознакомиться со спецификой оборудования и его ролью в производственном процессе.

Для оценки предлагаемого подхода было проведено анкетирование 25 пользователей, средний возраст которых составил 35 лет, реализованное в Yandex Forms. Анкета состояла из двух разделов: знакомство с САПР, виртуальной реальностью и пользовательским интерфейсом; полезность виртуальной реальности и ее интеграция. Ответы на вопросы в первом разделе оценивались по 5-балльной шкале (1 – нет знаний, 2 – незначительные знания, 3 – некоторые знания, 4 – средние знания, 5 – отличные знания). Кроме того, участников просили указать, сколько раз (один, два, три и более) они использовали инструменты виртуальной реальности во время сессии.

В результате опроса было установлено, что разброс ответов по знанию САПР и графического интерфейса оказался достаточно ровным. Однако только 2 из 25 человек заявили об отличном знании технологии виртуальной реальности.

Во втором разделе пользователям было предложено ответить на конкретные вопросы, направленные на изучение уровня полезности виртуальной реальности и ее интеграции. Оценка так же, как и в первом разделе, осуществлялась по 5-балльной системе (1 – категорически не согласен, 2 – не согласен, 3 – скорее не согласен, чем согласен, 4 – скорее согласен, чем не согласен, 5 – полностью согласен).

Результаты опроса свидетельствуют о том, что пользователи полностью согласны с тем, что рассмотренный подход виртуальной реальности оказывает положительное влияние на коммуникацию между сотрудниками сыроварни (5 из 5). Аналогично большинство согласилось с тем, что виртуальная реальность позволяет выявлять эргономические (4 из 5) и логические недостатки (4 из 5), а также недостатки дизайна (5 из 5) во время проверки проекта

с использованием устройства виртуальной реальности. Кроме того, 75% пользователей согласилось с тем, что взаимодействовать с компонентами системы в виртуальной среде просто, носить устройство достаточно комфортно, а пользовательский интерфейс интуитивно понятен. Также большинство опрошенных оказались не согласны с тем, что после снятия гарнитуры у них закружилась голова (3 из 5) и они чувствуют дискомфорт, используя виртуальную реальность.

Анкетирование показало, что технология виртуальной реальности играет важную роль в качестве вспомогательного инструмента для проектирования нового продукта, а также выявления и устранения недостатков, которые могут возникнуть на производственной линии, уже введенной в эксплуатацию.

Выводы

1. Представлена процедура создания цифрового двойника линии по производству сыров на основе технологии виртуальной реальности, которая продемонстрировала свою эффективность с точки зрения эргономики и наглядности. По сравнению с традиционными 2D-инструментами виртуальная реальность позволила улучшить размещение оборудования, сроки принятия проектных решений и коммуникации между сотрудниками.

2. Представленное исследование было дополнено анкетированием, направленным на оценку пользователей с точки зрения знакомства с инструментами интерфейса, а также полезности виртуальной реальности и ее интеграции. Результаты опроса доказали необходимость применения технологии

виртуальной реальности для проектирования нового продукта и устранения «узких» мест на производственных линиях, введенных в эксплуатацию.

3. Углубить исследование планируется путем применения технологии виртуальной реальности на других стадиях жизненного цикла проектируемой производственной линии, таких как обучение и техническое обслуживание, а также ее интеграции с процессами, направленными на оптимизацию производства (компоновка оборудования, производительность линии).

Список использованных источников

1. Цифровая трансформация агропромышленного комплекса / Т.И. Ашмарина, Т.В. Бирюкова, В.Т. Водяников и др. М.: ООО «Мегаполис», 2022. 160 с.
2. Akpan I., Offodile O. The Role of Virtual Reality Simulation in Manufacturing in Industry 4.0 // Systems. 2024. Vol. 12. No. 26. DOI: 10.3390/systems12010026.
3. Кислицкий М.М., Миронов Д.А., Лылов А.С. Цифровые двойники сельскохозяйственных машин и оборудования в системе обеспечения продовольственной безопасности: значение и перспективы // Теория и практика мировой науки. 2022. № 12. С. 27-29.
4. Methodological Basis of Virtual Reality Technology Application in Industrial Design / A. Konstantinova, V. Ivchenko, V. Bakhonka et al. // Science & Technique. 2021. Vol. 20. P. 465-475. DOI: 10.21122/2227-1031-2021-20-6-465-475.
5. Филюшина Е.В., Васильева В.А., Болдырева В.В., Тихоненко Д.В. Инструменты и методы управления ИТ-проектами для успешности их реализации // Наука и бизнес: пути развития. 2023. № 9 (147). С. 26-28.
6. Землянов Г.С., Ермолаева В.В. 3D-моделирование // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 186-189. URL: <https://moluch.ru/archive/91/18642/> (дата обращения: 25.07.2024).
7. Сивожелезова А.А. Основные принципы создания 3D-моделей. Понятия и методы оптимизации в трёхмерной графике // Молодой ученый. 2020. № 10 (300). С. 10-15. URL: <https://moluch.ru/archive/300/67903/> (дата обращения: 26.07.2024).
8. Завистовский Д.Н., Суханцов А.М., Чубаров Ф.Л. Применение техноло-

гий компьютерного проектирования и 3D-моделирования в сельском хозяйстве // Матер. всерос. (нац.) науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвященной 110-летию со дня рождения И. С. Кауричева. 2024. С. 52-56.

9. Ланг Н.В., Шляхова М.М. Новые направления использования 3D-моделирования // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2020. Т. 6. № 1. С. 205-209. DOI: 10.33764/2618-981X-2020-6-1-205-209.

10. Mahmood K., Otto T., Chakraborty A. Layout planning and analysis of a Flexible Manufacturing System based on 3D Simulation and Virtual Reality // Procedia CIRP. 2023. Vol. 120. P. 201-206. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2023.103136>.

11. Дорохов А.С., Павкин Д.Ю., Юрочка С.С. Технология цифровых двойников в сельском хозяйстве: перспективы применения // Агроинженерия. 2023. Т. 25. № 4. С. 14-25. DOI: 10.26897/2687-1149-2023-4-14-25 (11).

12. Convergence of Virtual Reality and Digital Twin technologies to enhance digital operators' training in industry 4.0 / A. Martínez-Gutiérrez, J. Díez-González, P. Verde, et al. // International Journal of Human-Computer Studies. 2023. Vol. 180. 103136. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2023.103136>.

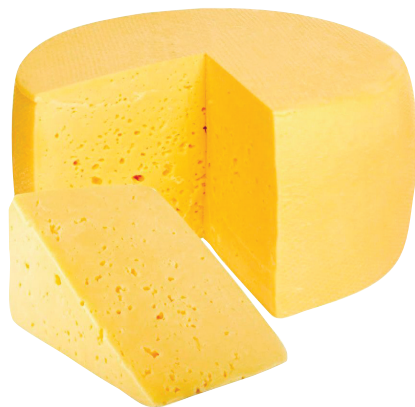
Creating Digital Twin of the Cheese Production Line Using Virtual Reality Technology

A.V. Babkina, A.N. Martekha, V.V. Toroptsev
(RGAU-MSHA named after K.A. Timiryazev);

E.N. Zaleskaya, E.A. Korchevskaya
(Vitebsk State University named after P.M. Masherov)

Summary. The main stages of the project life cycle are considered, its schedule is presented in the form of a Gantt chart. A method for designing the line using virtual reality technology is proposed which includes four stages: designing a 3D CAD model, importing a model, creating a scene, testing the system. To evaluate the approach, a user survey was conducted which proves the need to use a digital twin for designing the cheese production line.

Key words: digital twin, virtual reality, 3D modeling, IT project, cheese production line, agro-industrial complex.



УДК 621.762

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-11-37-39

Адгезионная прочность электроосажденных покрытий, полученных с применением диспергированных электроэрозией твердых сплавов

Е.В. Агеева,*д-р техн. наук, проф.,**ageeva-ev@yandex.ru**(ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»);***В.И. Серебровский,***д-р техн. наук, проф.,**svi.doc@yandex.ru***О.С. Серникова,***аспирант,**olga.sernikova@mail.ru**(ФГБОУ ВО Курский ГАУ имени И.И. Иванова)*

Аннотация. Изучены свойства и выполнена оценка адгезионной прочности композиционных электроосажденных покрытий на восстановленных деталях автотракторной техники, полученных с применением диспергированных электроэрозией твердых сплавов. Экспериментально установлено, что покрытия не имеют видимых дефектов на границе «покрытие – подложка», обладают плотной беспористой структурой, основными элементами в них являются Fe, W, Ti, Co и небольшое количество C и O, основными фазами – Fe, W₂C, WO₃, TiC и W. Отслаивания и разрушения покрытий не происходит. Адгезионная прочность покрытий составила порядка 190 Н.

Ключевые слова: изношенные детали, автотракторная техника, композиционные электроосажденные покрытия, адгезионная прочность.

Постановка проблемы

В настоящее время в условиях санкционных ограничений и наличия в России значительного количества импортной автотракторной и сельхозтехники [1], а также отсутствия оригинальных запчастей к ним остро стоит проблема восстановления изношенных деталей [2].

Одним из перспективных методов восстановления изношенных деталей является железнение, которое не требует применения сложного оборудования и дорогостоящих реактивов [3]. Необходимые реактивы могут быть приготовлены на месте и имеют небольшую себестоимость [4]. Актуальной задачей при железнении является создание так называемых композиционных электроосажденных покрытий (КЭП) [5], получаемых путем ввода в раствор упрочняющих добавок в виде мелкодисперсного порошка [6]. В таком случае железо в покрытии выполняет функции связующего звена (так называемой «матрицы»), в которую включены частицы порошка.

Композиционные электроосажденные покрытия обладают более высокими эксплуатационными качествами, также при их использовании детали можно придать новые физические свойства, не характерные для обычного гальванического покрытия [7]. Однако применение износостойких материалов сдерживается проблемой чрезвычайно высокой стоимости, связанной с дефицитностью компонентов, технологической сложностью и дороговизной их получения [8]. Одним из путей решения названной проблемы является переработка в мелкодисперсное сырье легковесных металлоотходов, содержащих дорогостоящие компоненты (W, Ti, Co и др.), на собственных производственных мощностях предприятий при минимальных затратах энергии и экологическом уроне окружающей среды. Существующие в настоящее время способы переработки металлоотходов в мелкодисперсное сырье являются крупнотоннажными, энергоемкими и экологически вредными [9].

Одним из эффективных, но недостаточно изученных металлургических способов получения высокотвердых дисперсных материалов путем измельчения легковесных металлоотходов является электродиспергирование (ЭЭД) [10]. Процесс выгодно отличается возможностью получения порошков даже из особо твердых и тугоплавких материалов [11]. Единственным ограничивающим критерием исходного материала (изношенные детали и другой металлический лом) является электропроводность. Использование металлоотходов позволяет значительно экономить затраты на производство металлопродукции из природных ресурсов [12]. Кроме того, на малых предприятиях скапливаются в небольших количествах «легковесные» металлоотходы, которые данное предприятие могло бы собственными силами перерабатывать.

В настоящее время в промышленности данный способ практически не применяется ввиду отсутствия полноценных комплексных сведений о составе, структуре и свойствах диспергированных электроэрозией частиц, а также покрытий, полученных на их основе.

Цель исследования – оценка адгезионной прочности электроосажденных покрытий на восстановленных деталях автотракторной техники, полученных с применением диспергированных электроэрозией твердых сплавов.

Материалы и методы исследования

Для проведения исследований по оценке адгезионной прочности электроосажденных покрытий на восстановленных деталях автотракторной техники, полученных с приме-

нием диспергированных электроэрозией твердых сплавов, были изготовлены образцы из стали 30ХГСА Ø 40 мм и толщиной 5 мм. Для введения в электролит КЭП в качестве упрочняющей добавки были использованы порошки, полученные методом ЭЭД металлоотходов твердых сплавов марки Т30К4.

При электродиспергировании металлоотходов основными регулируемыми параметрами работы установки электродиспергирования являются напряжение на электродах, частота следования импульсов и емкость разрядных конденсаторов. Осаждение композиционных покрытий с добавлением электроэрозионных материалов осуществляли на цифровом гальваноаппарате Ю-400D. Блок-схема методики осаждения покрытий представлена на рис. 1.

Микроструктуру покрытий исследовали на электронно-ионном сканирующем (растровом) микроскопе с полевой эмиссией электронов QUANTA 600 FEG (Нидерланды), их элементный состав – путем проведения рентгеноспектрального микроанализа на энергодисперсионном анализаторе рентгеновского излучения фирмы EDAX (Нидерланды), встроенном в растровый электронный микроскоп QUANTA 200 3D (Нидерланды).

Фазовый анализ покрытий выполняли на рентгеновском дифрактометре Rigaku Ultima IV (Япония). Адгезию электроосажденных покрытий изучали на скретч-тестере фирмы Revetest CSM Instruments (Швейцария).

Методом растровой электронной микроскопии было проведено исследование микроструктуры образцов (по поперечному шлифу). Микроструктура композиционного электроосажденного покрытия с добавлением электроэрозионных частиц из Т30К4 на электронно-ионном сканирующем (растровом) микроскопе с полевой эмиссией электронов QUANTA 600 FEG представлена на рис. 2.

Результаты исследований и обсуждение

Анализ микроструктуры показал, что покрытие без видимых дефектов на границе «покрытие – подложка», отличается плотной беспористой структурой, поры подложки равномерно заполнены композиционным покрытием с добавлением электроэрозионных частиц, что связано с наличием их мелких фракций в электролите-сuspензии.

Результаты анализа элементного состава композиционного электроосажденного покрытия с добавлением электроэрозионных частиц Т30К4, полученного на энергодисперсионном анализаторе рентгеновского излучения фирмы EDAX, встроенном в растровый электронный микроскоп QUANTA 200 3D, представлены на рис. 3. Были получены спектры характеристического рентгеновского излучения в различных точках на поверхности образцов. На основе анализа спектрограммы элементного состава КЭП с добавлением электроэрозионных частиц Т30К4 установлено, что в данных покрытиях основными элементами являются Fe, W, Ti, Co и небольшое количество С и О.

Результаты анализа фазового состава КЭП, полученные на рентгеновском дифрактометре Rigaku Ultima IV, представлены на рис. 4. На основе анализа дифрактограммы фазового состава КЭП установлено, что в данных покрытиях основными фазами являются Fe, W_2C , WO_2 , TiC и W.

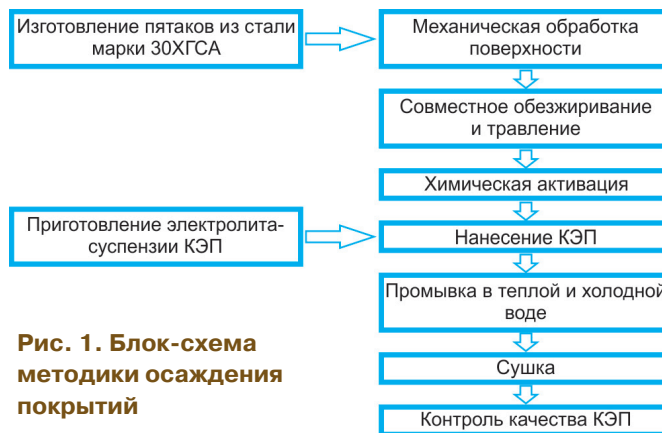


Рис. 1. Блок-схема методики осаждения покрытий

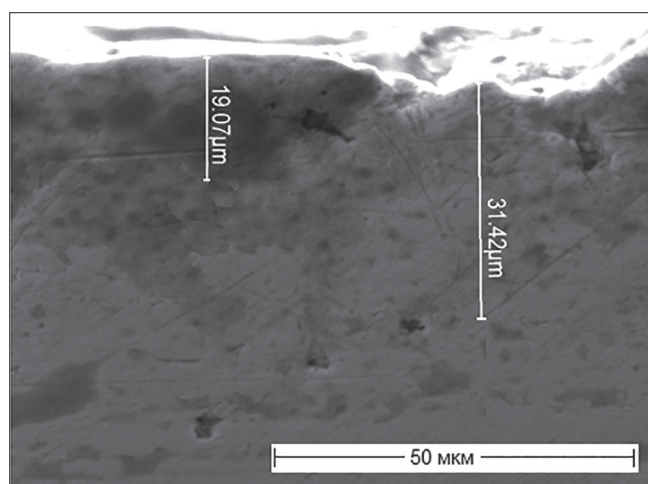


Рис. 2. Микроструктура КЭП

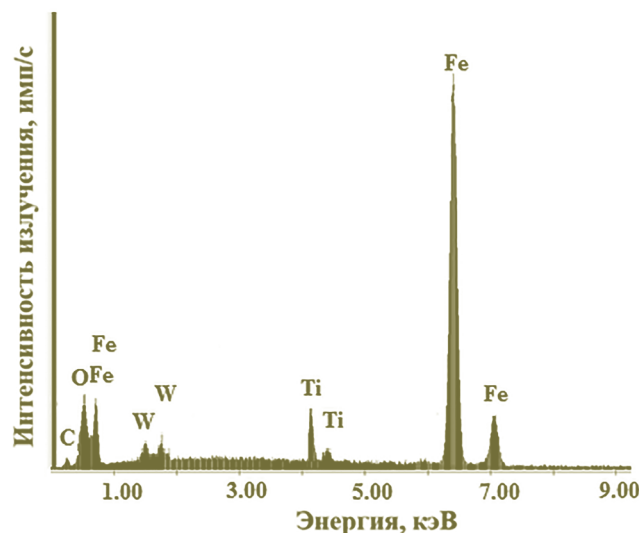


Рис. 3. Спектрограмма элементного состава КЭП

Результаты исследования адгезионной прочности КЭП, полученные на скретч-тестере Revetest CSM Instruments, представлены на рис. 5.

На основе анализа зависимостей изменения акустической эмиссии (АЭ) и коэффициента трения (КТ) от приложенной нагрузки на КЭП с добавлением электроэрозионных частиц Т30К4 установлено, что отслаивания и разрушения

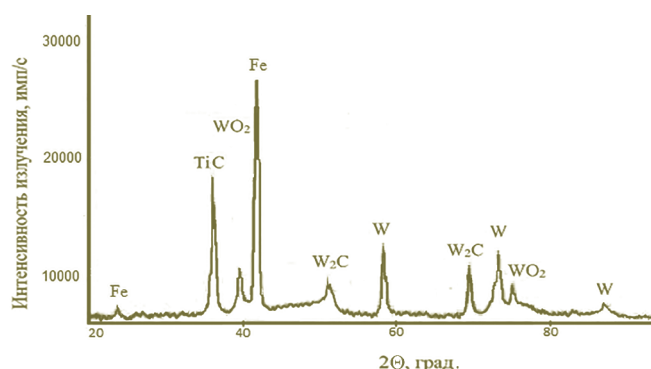


Рис. 4. Дифрактограмма фазового состава КЭП

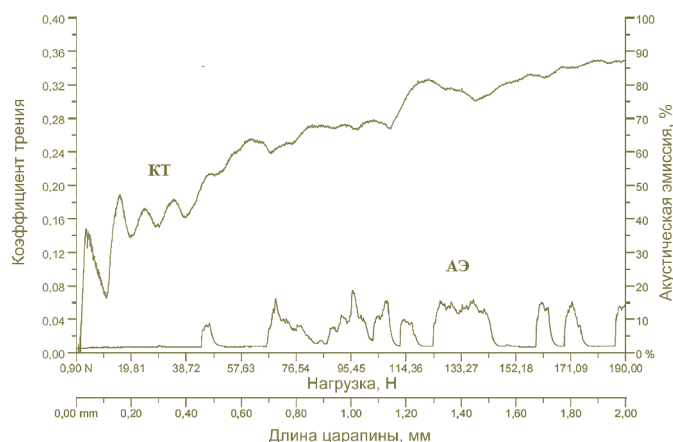


Рис. 5. Адгезионная прочность КЭП

покрытия не происходит. Адгезионная прочность композиционных электроосажденных покрытий с добавлением электроэрозийных частиц составила порядка 190 Н.

Работа выполнена в рамках госзадания Минсельхоза России.

Код (шифр) научной темы, присвоенной учреждением (организацией), – 46-1.

Выводы

1. На основании проведенных исследований, направленных на изучение свойств и оценки адгезионной прочности композиционных электроосажденных покрытий на восстановленных деталях автотракторной техники, полученных с применением диспергированных электроэрозией твердых сплавов, установлено:

- покрытия без видимых дефектов на границе «покрытие – подложка», имеют плотную беспористую структуру;
- основные элементы в покрытиях – Fe, W, Ti, Co и небольшое количество C и O, основные фазы в покрытиях – Fe, W₂C, WO₂, TiC и W;
- отслаивания и разрушения покрытий не происходит. Адгезионная прочность КЭП составила порядка 190 Н.

2. Предложенная технология восстановления и упрочнения изношенных деталей автотракторной техники композиционными гальваническими покрытиями, полученными с применением диспергированных электроэрозией твердых сплавов, позволяет обеспечить необходимые адгезионные свойства покрытий.

Список использованных источников

1. Кравченко И.Н., Пастухов А.Г., Чеха Т.А., Шамарин Ю.А. Ресурсосберегающая технология восстановления изношенных деталей пневматических сеялок // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2020. № 3. С. 35-39.
2. Слинко Д.Б., Дорохов А.С., Денисов В.А., Лялякин В.П. Практика применения плазменно-порошковой наплавки при восстановлении изношенных деталей машин // Технология машиностроения. 2019. № 3. С. 32-37.
3. Буклагина Г.В. Восстановление изношенных деталей машин электролитическим железоалюминиевым сплавом // Инженерно-техническое обеспечение АПК. 2010. № 3. С. 890.
4. Серебровский В.В., Богомолов С.А., Молодкин А.Ю. Оптимизация условий электроосаждения железвольфрамовых и железомолибденовых покрытий для получения износостойких покрытий при восстановлении изношенных деталей машин // Вест. Курской ГСХА. 2014. № 5. С. 78-80.
5. Мохова О.П., Коробков А.И. Применение электротехнологии для восстановления изношенных деталей сельскохозяйственной техники осталиванием // Вест. РГАЗУ. 2023. № 45 (50). С. 28-32.
6. Ткачёв А.Г., Литовка Ю.В., Дьяков И.А., Кузнецова О.А. Получение наномодифицированных композиционных никелевых гальванических покрытий // Гальванотехника и обработка поверхности. 2010. Т. 18. № 1. С. 17-21.
7. Юдина Е.М., Кадыров М.Р. Обоснование энергосберегающих направлений в восстановлении изношенных деталей машин электрохимическим осаждением // Электронный науч. журнал. 2015. № 3 (3). С. 98-102.
8. Юдина Е.М., Гурьянов Г.В., Кисель Ю.Е., Лысенко А.Н. Стойкость композиционных гальванических покрытий при абразивном изнашивании // Сел. механизатор. 2015. № 3. С. 34-35.
9. Задорожний Р.Н., Романов И.В. Повышение износостойкости рабочих органов сельскохозяйственных машин вторичными твердосплавными материалами // Упрочняющие технологии и покрытия. 2022. Т. 18. № 1 (205). С. 24-27.
10. Latypov R.A., Ageeva E.V., Latypova G.R. Properties of the Composite Galvanic Coatings Fabricated Using the Dispersed Wastes of ShKh15 Steel // Russian Metallurgy (Metally), 2019. Vol. 2019(6). Pp. 632-635.
11. Задорожний Р.Н., Романов И.В., Зуевский В.А., Сидоркин О.А. Применение вторичных твердосплавных порошков для восстановления и упрочнения деталей // Упрочняющие технологии и покрытия. 2023. Т. 19. № 2 (218). С. 77-80.
12. Зуевский В.А., Задорожний Р.Н., Романов И.В. Использование порошковых материалов в технологиях восстановления и упрочнения деталей сельскохозяйственной техники // Технический сервис машин. 2021. № 4 (145). С. 180-190.

Adhesion Strength of the Electrodeposited Coatings Obtained Using Hard Alloys Dispersed by Electrical Erosion

E.V. Ageeva

(South-West State University)

V.I. Serebrovsky, O.S. Sernikova

(Kursk State Agrarian University named after I.I. Ivanov)

Summary. The properties of the composite electrodeposited coatings on restored parts of automotive and tractor equipment obtained using hard alloys dispersed by electrical erosion were studied and their adhesive strength was assessed. It was experimentally established that the coatings have no visible defects at the coating-substrate interface, they have a dense, non-porous structure, the main elements in them are Fe, W, Ti, Co and a small amount of C and O, the main phases are Fe, W₂C, WO₂, TiC and W. Peeling and destruction of the coatings do not occur. The adhesive strength of the coatings was about 190 N.

Keywords: worn parts, automotive and tractor equipment, composite electrodeposited coatings, adhesive strength.

УДК 621.313

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-11-40-43

Статистические распределения эксплуатационных факторов, влияющих на срок службы контактов магнитных пускателей пускозащитной аппаратуры погружных электродвигателей

В.А. Буторин,

д-р техн. наук, проф.,
butorin_chgau@list.ru

Р.Т. Гусейнов,

канд. техн. наук,
ruslan-ural8@mail.ru

И.Б. Царев,

канд. техн. наук, доц.,
i.b.tsarev@yandex.ru

(ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ)

Аннотация. Установлены факторы, влияющие на срок службы контактов магнитных пускателей погружных электродвигателей. Методом экспертных оценок основные 5 факторов проранжированы по степени влияния. Для каждого из основных факторов собран статистический материал и найдены статистические распределения, удовлетворительно согласующиеся с данными эксплуатационных наблюдений.

Ключевые слова: магнитный пускатель, коммутационный ресурс, эксплуатационные факторы, сельское водоснабжение.

Постановка проблемы

Магнитные пускатели являются важной частью пускозащитной аппаратуры погружных асинхронных двигателей. Типовая схема включения погружного электродвигателя и щит управления представлены на рис. 1-2 [1, 2].

Ежегодно в условиях сельскохозяйственного производства выходят из строя до 30 % магнитных пускателей. Около половины их отказов приходится на износ силовых контактов [3-5].

Наиболее полную информацию о скорости изнашивания силовых контактов могли бы дать эксплуатационные наблюдения, но они требуют больших затрат времени и труда по сбору статистики отказов, что порой обесценивает собранную информацию [6-8].

Существенное сокращение времени и трудозатрат дают ускоренные стендовые испытания, которые проводят согласно активному планирова-

нию эксперимента [9-11]. Однако их проведение требует моделирования на стенде реальных условий эксплуатации магнитных пускателей в сельскохозяйственном производстве.

Эксплуатация пускозащитной аппаратуры в условиях сельского водоснабжения имеет ряд отличительных черт, поэтому выявление основных факторов, влияющих на срок службы контактов магнитных пускателей в условиях сельского водоснабжения, а также описание статистических распределений этих факторов являются актуальными задачами.

Цель исследования – определение основных факторов, влияющих на износ контактов магнитных пускателей в условиях сельскохозяйственного производства.

Материалы и методы исследования

Анализ литературных источников и условий эксплуатации позволил выделить восемь факторов разной степени значимости, от которых зависит срок службы контактов магнитных пускателей в условиях сельхозпроизводства: напряжение на катушке, ток

нагрузки, её характер (сдвиг фаз между током и напряжением), длительность включения, концентрация пыли и сероводорода в атмосфере, а также температура и относительная влажность воздуха.

Пониженное напряжение на катушке магнитного пускателя приводит к уменьшению втягивающего усилия и вибрации контактов [12]. Повышенное напряжение вызывает повышен-

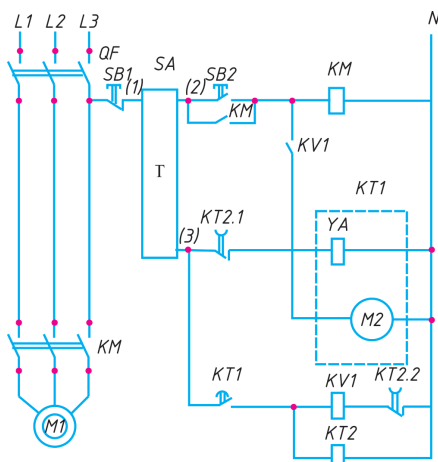


Рис. 1. Схема включения погружного асинхронного двигателя

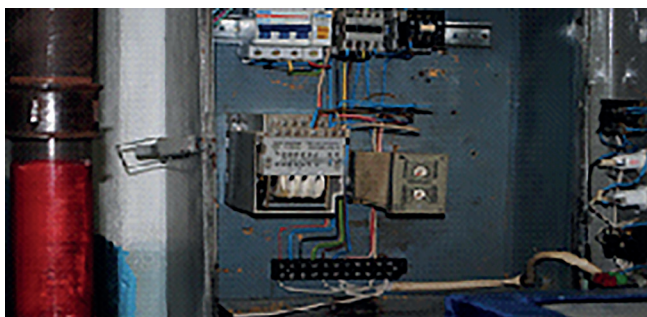


Рис. 2. Щит управления погружного асинхронного двигателя

ное механическое усилие на контакты, что приводит к рекристаллизации слоя металла на их поверхности и, как следствие, к усилению их электроэрозии [9, 10]. Пусковые токи и их длительность оказывают непосредственное влияние на интенсивность электрической эрозии контактной системы [9].

Характер нагрузки ($\cos \varphi$) также сказывается на скорости изнашивания контактов. Чем выше индуктивность размыкаемой цепи, тем быстрее разрушаются контакты под действием электрической эрозии [9, 10]. Наличие пыли в окружающей среде приводит к уменьшению площади контактирования [9, 10]. Кроме того, механические примеси, например песок, могут быть гигроскопичны, а это вызывает утечку зарядов и проскакивание искр между контактами.

Повышенная влажность в сочетании с сероводородом приводит к ускоренной коррозии материала контактов [10]. В работах [9, 10] указано, что быстрота изнашивания контактов зависит от температуры окружающей среды.

Затраты труда и длительность стендовых испытаний, проводимых согласно активному планированию эксперимента, резко возрастают с увеличением моделируемых факторов. Например, в случае восьми факторов полнофакторное исследование первого порядка потребовало бы $2^8 = 256$ опытов, что не представляется возможным. Поэтому из восьми описанных факторов, влияющих на коммутационный износ контактов, необходимо выделить основные, наиболее значимые.

Сравнительные экспериментальные или теоретические исследования, указывающие на степень влияния каждого из перечисленных факторов, отсутствуют. Поэтому для оценки значимости каждого фактора был выбран метод экспертных оценок [9, 10]. Метод заключается в том, что экспертам, членам кафедр Института агроинженерии и ведущим инженерам хозяйств предлагалось провести ранжирование факторов, т.е. расположить их в порядке уменьшения степени влияния на скорость изнашивания контактов.

Результаты исследований и обсуждение

Результаты ранжирования приведены в табл. 1. Эти данные обрабатывались согласно методике, сложившейся в теории экспертных оценок. Согласованность суждений специалистов описывает коэффициент конкордации w , который принимает значения от 0 до 1. При полной согласованности $w = 1$, при полной рассогласованности $w = 0$. Значимость коэффициента конкордации проверялась по критерию χ^2 -Пирсона. Результаты статистической обработки данных метода экспертных оценок приведены в табл. 2.

Метод экспертных оценок позволил снизить количество факторов, моделируемых при проведении стендовых испытаний, с 8 до 5. Наибольшее влияние на скорость изнашивания контактов в порядке убывания зна-

чимости оказывают ток нагрузки I , концентрация сероводорода S , напряжение на катушке U , характер нагрузки $\cos \varphi$, относительная влажность воздуха W .

Чтобы смоделировать на испытательном стенде реальные условия эксплуатации магнитных пускателей, необходимо знать статистические характеристики перечисленных факторов. В качестве предприятия, на котором проводились статистические исследования, было выбрано ООО «Племенной конный завод «Дубровский» как типовое предприятие по условиям эксплуатации электрооборудования.

По экспериментальным данным разброса напряжения на катушке магнитного пускателя и концентрации сероводорода были построены гистограммы, характерный вид которых позволяет предположить,

Таблица 1. Результаты ранжирования экспертами изнашивающих факторов

Эксперт	Фактор							
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
1	3	7	4	1	2	6	5	8
2	3	8	2	4	5	6	1	7
3	1	5	2	4	3	6	7	8
4	3	4	5	2	1	7	6	8
5	1	6	8	5	4	7	2	3
6	5	6	3	1,5	1,5	8	7	4
7	1	3	2	5	4	7	6	8
8	1	4	2	3	5	7	6	8
9	1	5	4	3	2	8	6	7
10	1	3	2	4	5	6	7	8
11	2	5	1	3	4	7	8	6
12	1	4	2	3	5	6	7	8
13	4	5	1	3	2	7	6	8
14	1	5	2	3	4	6	8	7
15	2	4	1	3	5,5	5,5	8	7
16	4	5	2	2	2	7	6	8
17	1	4	2	3	5	6	7	8
Σ	35	83	45	52,5	60	112,5	104	120

Таблица 2. Результаты статистической обработки данных метода экспертных оценок

Число		Ранг	Дисперсия	Показатель связанных рангов	Коэффициент конкордации	Значение критерия Пирсона	
факторов	экспертов					расчетное	табличное
k	m	$\bar{a}$	S	T	w	$\chi^2_{расч}$	$\chi^2_{табл}$
8	17	76,5	7408,6	36	0,6	74,3	18,5

что напряжение и концентрация сероводорода распределены по нормальному закону (рис. 3-4). Проверка этих гипотез проводилась по критерию χ^2 -Пирсона, согласно стандартной методике, принятой в математической статистике. Итоги расчетов подтверждают сделанное предположение (табл. 3-4).

Отличительной чертой гистограмм, построенных по собранным статистическим данным для тока нагрузки I (рис. 5) и характера нагрузки $\cos \varphi$ (рис. 6), является их несимметрия. Для описания несимметричного распределения этих факторов был выбран бета-трапециальный закон [9, 10] как один из наиболее универсальных. Проверка гипотезы о соответствии распределения тока и характера нагрузки бета-трапециальному закону также проводилась по критерию χ^2 -Пирсона, согласно стандартной методике, принятой в математической статистике. Итоги расчетов указаны в табл. 5, 6 и подтверждают сделанное предположение.

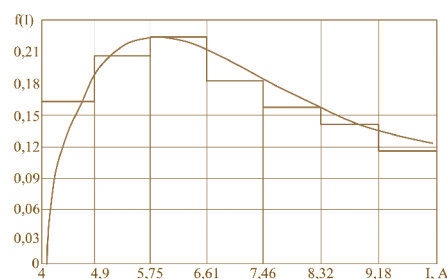


Рис. 5. Гистограмма и сглаживающее распределение тока нагрузки

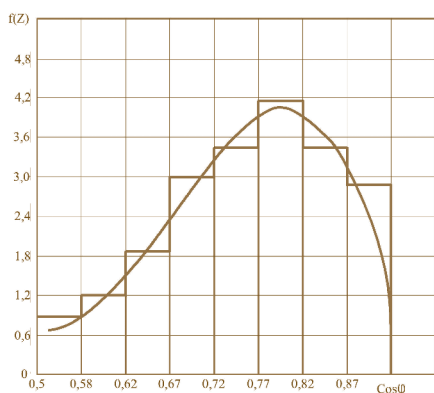


Рис. 6. Гистограмма и сглаживающее распределение характера нагрузки

Относительная влажность воздуха в помещениях сельскохозяйственного производства, как показано в работах [9, 10], имеет нормальное распределение с математическим ожиданием $\bar{W} = 83,9 \%$ и среднеквадратическим отклонением $\sigma_w = 5,2 \%$.

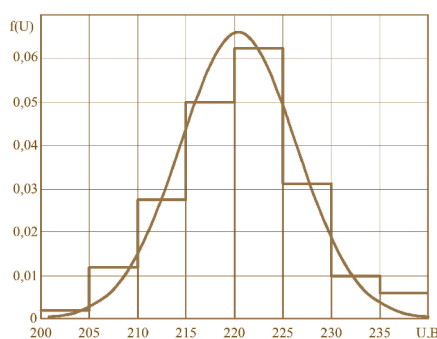


Рис. 3. Гистограмма и сглаживающее распределение напряжения на катушке магнитного пускателя

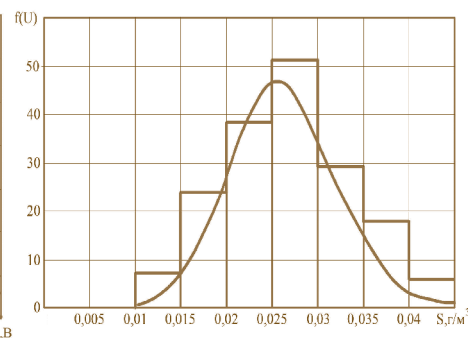


Рис. 4. Гистограмма и сглаживающее распределение концентрации сероводорода

Выводы

1. Анализ литературных источников позволил выделить факторы, оказывающие наибольшее влияние на скорость изнашивания контактов магнитного пускателя в условиях сельскохозяйственного производства.

Таблица 3. Проверка гипотезы о соответствии распределения напряжения на катушке магнитного пускателя нормальному закону

№	Интервал	x_i	n_i	$x_i n_i$	P_i	$P_i x_i^2$	f^*	$\tilde{n}_i$	$(n_i - \tilde{n}_i)^2 / n_i$
1	200-205	202,5	2	405	0,0098	400,22	0,00195	1,12	0,387
2	205-210	207,5	12	2490	0,0584	2512,76	0,01171	9,38	0,572
3	210-215	212,5	28	5950	0,1366	6167,67	0,02732	25,28	0,264
4	215-220	217,5	51	11062,5	0,2488	11696,82	0,04976	48,61	0,112
5	220-225	222,5	64	14240	0,3122	15455,60	0,06244	69,08	0,403
6	225-230	227,5	32	7280	0,1561	8079,03	0,03122	35,12	0,304
7	230-235	232,5	10	2325	0,0488	2636,89	0,00976	12,46	0,234
8	235-240	237,5	6	1425	0,0293	1650,92	0,005854	4,95	0,184
Σ	-----	-----	205	45177,5	1	48599,902	-----	-----	2,46

$$X_{cp.} = 220,37 \text{ В}; \sigma = 6,08 \text{ В}; \chi^2_{табл.} = 11,07.$$

Таблица 4. Проверка гипотезы о соответствии распределения концентрации сероводорода нормальному закону

№	Интервал	x_i	n_i	$x_i n_i$	P_i	$P_i x_i^2$	f^*	$\tilde{n}_i$	$(n_i - \tilde{n}_i)^2 / n_i$
1	0,01-0,016	0,013	4	0,0514	0,0417	0,000007	7,31	2,42	0,6249
2	0,016-0,021	0,0181	13	0,2410	0,1354	0,000046	23,76	9,61	0,8835
3	0,021-0,027	0,024	21	0,5093	0,2188	0,000129	38,38	23,04	0,1989
4	0,027-0,033	0,030	29	0,8690	0,3021	0,000271	52,99	25,34	0,4613
5	0,033-0,039	0,036	16	0,5704	0,1667	0,000212	29,24	14,03	0,2423
6	0,039-0,044	0,0415	10	0,4135	0,1042	0,000178	18,28	4,14	3,4351
7	0,044-0,05	0,047	3	0,1412	0,0313	0,000069	5,48	1,1	1,2014
Σ	-----	-----	96	2,7958	1	0,0008865	-----	-----	7,047

$$X_{cp.} = 0,02914 \text{ г/м}^3; \sigma = 0,006 \text{ г/м}^3; \chi^2_{табл.} = 9,49.$$

Таблица 5. Проверка гипотезы о соответствии распределения тока нагрузки бета-трапециальному закону

№	Интер-вал	x_i	n_i	$x_i n_i$	P_i	$P_i x_i^2$	f^*	$\tilde{n}_i$	$(n_i - \tilde{n}_i)^2 / n_i$
1	4,04-4,9	4,47	14	62,58	0,14	2,79733	0,164	13,18	0,04803
2	4,9-5,75	5,326	18	95,868	0,18	5,10593	0,210	19,17	0,07660
3	5,75-6,61	6,182	19	117,458	0,19	7,26125	0,222	16,78	0,25995
4	6,61-7,46	7,038	15	105,57	0,15	7,43002	0,175	16,95	0,25319
5	7,46-8,32	7,893	13	102,609	0,13	8,10098	0,153	14,29	0,12904
6	8,32-9,18	8,76	12	105,12	0,12	9,18750	0,141	12,41	0,01415
7	9,18-10,03	9,605	9	86,44	0,09	8,30477	0,104	10,96	0,42545
Σ	-----	-----	100	675,553	1	48,187776	-----	-----	1,2064

$$X_{\text{ср.}} = 6,75 \text{ А; } \sigma = 1,62 \text{ А; } \chi_{\text{табл.}}^2 = 11,07.$$

Таблица 6. Проверка гипотезы о соответствии распределения тока нагрузки бета-трапециальному закону

№	Интер-вал	x_i	n_i	$x_i n_i$	P_i	$P_i x_i^2$	f^*	$\tilde{n}_i$	$(n_i - \tilde{n}_i)^2 / n_i$
1	0,530-0,578	0,553	6	3,318	0,0429	0,0132	0,892	5,38	0,0634
2	0,578-0,625	0,601	8	4,808	0,0572	0,0207	1,191	6,30	0,3625
3	0,625-0,673	0,651	13	8,463	0,0929	0,0393	1,934	10,96	0,3201
4	0,673-0,720	0,697	20	13,94	0,1429	0,0696	2,977	18,71	0,0832
5	0,720-0,768	0,745	23	17,135	0,1643	0,0914	3,424	23,59	0,0153
6	0,768-0,815	0,793	28	22,204	0,2	0,1261	4,166	26,85	0,0476
7	0,815-0,863	0,843	23	19,389	0,1643	0,1165	3,424	24,92	0,1599
8	0,863-0,910	0,891	19	16,929	0,1357	0,1075	2,826	14,19	1,2162
Σ	—	—	140	106,217	1	0,5842	—	—	2,2683

$$X_{\text{ср.}} = 0,759 \text{ о.е; } \sigma = 0,09 \text{ о.е; } \chi_{\text{табл.}}^2 = 7,82.$$

Метод экспертных оценок позволил расположить эти факторы по степени уменьшения влияния: ток нагрузки I , концентрация сероводорода S , напряжение на катушке U , характер нагрузки $\cos \varphi$, относительная влажность воздуха W .

2. Все перечисленные факторы имеют статистический характер. Концентрация сероводорода S и напряжение на катушке U удовлетворительно описываются нормальным законом. Относительная влажность воздуха W также имеет нормальное распределение с математическим ожиданием $\bar{W} = 83,9\%$ и среднеквадратическим отклонением $\sigma_w = 5,2\%$.

3. Ток нагрузки I и характер нагрузки $\cos \varphi$ удовлетворительно описываются бета-трапециальным законом.

Список

используемых источников

1. Буторин В.А., Гусейнов Р.Т. Разработка электрической схемы для проведения

ресурсных испытаний упорного подшипникового узла погружного электродвигателя // Вест. Саратовского ГАУ им. Н.И. Вавилова. 2014. № 3. С. 46-49.

2. Буторин В.А. Моделирование влияния примесей песка в скважинной воде на ресурс упорного подшипника погружного электродвигателя / В.А. Буторин, Р.Т. Гусейнов, И.Б. Царев // АПК России. 2023. Т. 30, № 2. С. 214-217. DOI 10.55934/10.55934/2587-8824-2023-30-2-214-217. EDN OWBEQZ.

3. Годжелло А.Г., Егоров Е.Г., Иванова С.П., Леонтьев Д.И. Оценка надёжности коммутационной аппаратуры на основе цензурированной статистической информации // Электротехника. 2010. № 4. С. 46-49.

4. Годжелло А.Г., Егоров Е.Г., Ращепкина Н.А., Иванова С.П. Статистический анализ надёжности контактов магнитных пускателей в условиях малой выборки // Электротехника. 2002. № 2. С. 37-40.

5. Годжелло А.Г., Егоров Е.Г., Ращепкина Н.А., Иванова С.П., Леонтьев Д.И. Прогнозирование технического состояния контактов магнитных пускателей по ре-

зультатам испытаний на коммутационную износостойкость // Вест. Чувашского университета. 2003. № 2. С. 154-161.

6. Егоров Е.Г., Иванова С.П., Луия Н.Ю. Энергосберегающий метод коммутационных испытаний магнитных пускателей // Вест. Чувашского университета. 2016. № 1. С. 47-55.

7. Егоров Е.Г., Иванова С.П., Луия Н.Ю. Энергосберегающий метод испытаний на коммутационную способность контакторов переменного тока // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2017. № 2. С. 46-54.

8. Лореттов Д.Д. Наладка контакторов, магнитных пускателей // Интернаука. 2023. № 12-2(282). С. 59-63.

9. Часовских И.Е., Буторин В.А. Факторы, влияющие на электроконтактную износостойкость коммутационной аппаратуры, применяемой в АПК // Флагман науки. 2024. № 1(12). С. 286-288.

10. Буторин В.А., Швецов М.С. Факторы, влияющие на долговечность контактов магнитных пускателей // Вест. Челябинского агроинженерного университета. 1998. Т. 26. С. 136-138.

11. Петько В.Г., Рахимжанова И.А., Шахов В.А. [и др.] Двухпозиционный регулятор уровней воды для водонапорной башни // Аграрный научный журнал. 2024. № 1. С. 125-132.

12. Петько В.Г., Рахимжанова И.А., Старожуков А.М. Ключ на базе симистора для коммутации нагрузок переменного тока // Известия Оренбургского ГАУ, 2018, № 3(71). С. 167-168.

Statistical Distributions of the Operational Factors Affecting the Service life of the Contacts of Magnetic Starters of Starting and Protective Equipment of Submersible Electric Motors

V.A. Butorin, R.T. Guseinov, I.B. Tsarev

(South Ural State Agrarian University)

Summary. Factors influencing the service life of the contacts of magnetic starters of submersible electric motors have been established. The main 5 factors have been ranked by the degree of influence using the method of expert assessments. Statistical material has been collected for each of the main factors and statistical distributions have been found that are in satisfactory agreement with the data of operational observations.

Keywords: magnetic starter, commutation life, operational factors, rural water supply.

Методические подходы к оценке инвестиционной привлекательности сельского хозяйства России и других государств-членов ЕАЭС

В.В. Маслова,

д-р экон. наук, проф. РАН,
maslova.ec-fin@vniiesh.ru

Н.Ф. Зарук,

д-р. экон. наук, проф.,
zaruk.ec-fin@vniiesh.ru

М.В. Авдеев,

канд. экон. наук,
avdeev.ec-fin@vniiesh.ru
(ФГБНУ ФНЦ ВНИИЭСХ)

Аннотация. Рассмотрены методические подходы к определению инвестиционной привлекательности сельского хозяйства в государствах-членах ЕАЭС. Представлена комплексная характеристика различных ее компонентов в разрезе государств-членов ЕАЭС. Предложен алгоритм оценки инвестиционной привлекательности сельского хозяйства стран Евразийского Союза.

Ключевые слова: системный подход, инвестиционная привлекательность, инвестиционные риски, инвестиционный потенциал, интегральный показатель, сельское хозяйство, государства-члены ЕАЭС.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-18-00236 (<https://rscf.ru/project/23-18-00236/>).

Постановка проблемы

Инвестиционная привлекательность государств рассматривается как формирование благоприятных политических, социальных, экономических, экологических, институциональных условий для привлечения инвестиций с минимальными рисками в экономику стран. В условиях глобализации мировой экономики, активизации перемещения капитала, трудовых ресурсов,

технологий между странами инвестиционная привлекательность государств является одним из основных факторов активизации внутренних и внешних инвестиционных вложений. Рассматривая методологические подходы к оценке инвестиционной привлекательности сельского хозяйства государств-членов Евразийского экономического союза (далее – ЕАЭС, Союз), необходимо отметить, что в современном глобальном мире все взаимосвязано и взаимозависимо, поэтому инвестиционная привлекательность государств является основной характеристикой развития экономических систем.

Инвестиционная привлекательность сельского хозяйства – комплексная экономическая категория, совокупность многих факторов, характеризующих аграрный сектор экономики с позиции перспектив его развития на основе роста инвестиционного потенциала и минимизации инвестиционных рисков [1].

Цель исследования – разработка методических подходов к оценке инвестиционной привлекательности сельского хозяйства России и других государств-членов ЕАЭС.

Материалы и методы исследования

Основными принципами исследования инвестиционной привлекательности как многокомпонентной системы являются принципы единства, иерархии, связанности и развития.

Главными признаками системы являются: структурированность (наличие подсистем или структуры системы), взаимосвязь составляющих ее частей (целостность и связанность), целевая направленность (подчиненность всей системы определенной цели, в на-

шем случае – оценке инвестиционной привлекательности). Инвестиционная привлекательность сельского хозяйства характеризуется инвестиционным потенциалом и инвестиционными рисками, которые, в свою очередь, описываются комплексом структурных характеристик.

Инвестиционный потенциал зависит от земельного, трудового, производственного, финансового и потребительского потенциалов. Инвестиционные риски во многом характеризуются финансово-экономическими и социальными рисками. При выборе системы показателей для характеристики инвестиционного потенциала и инвестиционных рисков исходили из возможности их отбора в открытых официальных источниках. Алгоритм оценки инвестиционной привлекательности сельского хозяйства государств-членов ЕАЭС представлен в табл. 1.

Результаты исследований и обсуждение

Земельный потенциал. Земельные ресурсы являются одним из ключевых факторов производства (табл. 2). От размеров, качества и эффективности их использования зависят результаты производственной деятельности, возможность обеспечения продовольственной безопасности страны и участия в мировой торговле агропродовольственной продукцией. Земельный потенциал можно охарактеризовать как абсолютными, так и относительными показателями.

В 2022 г. в России площадь сельскохозяйственных земель составила 194 млн га, при этом посевные площади – 82 млн га, или 42,5% всех сельскохозяйственных земель. Среди государств-членов ЕАЭС также

Таблица 1. Алгоритм оценки инвестиционной привлекательности сельского хозяйства государств-членов ЕАЭС

Структурные элементы инвестиционной привлекательности государств-членов ЕАЭС				
I. Подсистема инвестиционных потенциалов				
земельный	трудовой	производственный	финансовый	потребительский
Z ₁ – площадь сельхозугодий; Z ₂ – площадь посевных земель; Z ₃ – доля посевных площадей в площади сельхозугодий; Z ₄ – площадь сельхозугодий на численность населения; Z ₅ – площадь посевных земель на одного занятого в сельском хозяйстве; Z ₆ -Z ₁₀ – урожайность сельхозкультур; Z ₁₁ – количество вносимых удобрений	T ₁ – доля занятых в сельском хозяйстве в общей численности занятых по экономике; T ₂ – трудообеспеченность; T ₃ – средняя заработная плата в сельском хозяйстве; T ₄ – соотношение заработной платы в сельском хозяйстве к средней по экономике; T ₅ – производительность труда	P ₁ – доля сельского хозяйства в ВДС; P ₂ – индексы производства продукции сельского хозяйства; P ₃ – производство сельхозпродукции на душу населения; P ₄ – доля сельхозпродукции в общем объеме экспорта; P ₅ – объемы экспорта продовольствия на душу населения; P ₆ – доля импорта сельхозпродукции в общем объеме импорта; P ₇ – индекс инвестиций в основной капитал сельского хозяйства; P ₈ – доля инвестиций в основной капитал сельского хозяйства к общему объему; P ₉ – инвестиции в основной капитал сельского хозяйства на 1 га пашни; P ₁₀ – инвестиции в основной капитал сельского хозяйства на одного занятого в отрасли; P ₁₁ – коэффициент обновления основных фондов в сельском хозяйстве	F ₁ – рентабельность реализованной продукции; F ₂ – объемы государственной поддержки на 1 га сельхозугодий; F ₃ – объемы кредитования на 1 га сельхозугодий; F ₄ – ключевые/учетные ставки центральных банков	C ₁ – индекс потребительских цен; C ₂ – индекс оборота розничной торговли; C ₃ – индекс реальных денежных доходов; C ₄ – уровень бедности; C ₅₋₁₀ – потребление основных продуктов питания на члена домашнего хозяйства; C ₁₁ – доля потребительских расходов на продукты питания в общей структуре расходов; C ₁₂ – уровень безработицы
II. Подсистема инвестиционных рисков				
Финансово-экономические		Социальные		
R ₁ – степень износа основных фондов; R ₂ – налоговая нагрузка на сельское хозяйство		R ₃ – индексы цен сельхозтоваропроизводителей; R ₄ – индексы потребительских цен на продукты питания		
III. Алгоритм расчетов				
1. Проведение операции максимизации и нормирования индикаторов инвестиционного потенциала и риска для приведения их к сопоставимым значениям (от 0 до 1)		2. Расчет ненормированных интегральных показателей по отдельным потенциалам и рискам		3. Определение интегрального показателя оценки инвестиционной привлекательности, рассчитываемого как сумма нормированных значений интегральных показателей по отдельным потенциалам и рискам

Источник: составлено авторами.

выделяется Казахстан, где площадь сельхозугодий составляет 113 млн га, а посевные площади – 23 млн га, или 20,5 %. В расчете на численность населения страны, а также на число занятых в сельском хозяйстве максимальная площадь сельхозугодий и посевных земель среди исследуемых государств-членов ЕАЭС отмечена в Казахстане. Другие государства-члены ЕАЭС значительно уступают показателям России и Казахстана. По показателям урожайности сельхозкультур и объемам внесения минеральных удобрений лидирует Беларусь, что свидетельствует о более эффективном использовании земельных ресурсов.

Трудовой потенциал характеризуется как количественными (функциональными), так и качественными показателями (табл. 3).

В настоящее время можно выявить несоответствие структуры трудовых ресурсов требованиям экономического роста – дефицит рабочей силы.

Таблица 2. Индикаторы оценки земельного потенциала государств-членов ЕАЭС в 2022 г.

Показатели	Государство-член ЕАЭС				
	Армения	Беларусь	Казахстан	Кыргызстан	Россия
Площадь сельхозугодий (Z_1), всего, тыс. га	2 042	8 046	113 097	5 586	193 691
Посевные площади сельхозкультур и площадь многолетних насаждений (Z_2), тыс. га	212	5 772	23 162	1 229	82 291
Доля посевных площадей в сельхозугодиях (Z_3), %	10,4	71,7	20,5	22	42,5
Площадь сельхозугодий в расчете: на одного человека (Z_4), га	1,8	1,9	12,6	2,2	2,7
одного занятого в сельском хозяйстве (Z_5), тыс. га	0,8	15,9	20,9	2,7	19,7
Урожайность, ц/га:					
зерновые и зернобобовые (Z_6)	21,8	34,5	13,8	30,9	33,6
масличные культуры (Z_7)	Н.д.	19,4	9,1	11	16,7
сахарная свекла (Z_8)	285	451	341	518	487
картофель (Z_9)	182	223	205	170	174
овощи открытого грунта (Z_{10})	2822	295	271	197	252
Внесено минеральных удобрений на 1 га посевной площади (Z_{11}), кг	Н.д.	209	31	71	74

Источник: составлено и рассчитано авторами по данным ЕЭК [3-4].

Сокращение численности сельского населения государств-членов ЕАЭС становится самым серьезным вызовом для обеспечения суверенитета и продовольственной безопасности [2].

В целом по ЕАЭС в сельском хозяйстве трудится всего 7% населения.

Самая высокая доля занятых в сельском хозяйстве – в Армении (22%), самая низкая – в России (5,8%). По показателю количества занятых на 1000 га сельхозугодий, который позволяет определить уровень обеспеченности сельскохозяйственного производства

человеческими ресурсами, в 2022 г. лидирует Армения (125 человек), в аутсайдерах – Казахстан (10 человек).

В 2022 г. среднемесячная заработная плата в сельском хозяйстве в России была самая высокая из государств-членов ЕАЭС – 969 долл., самая низкая – в Кыргызстане (316 долл.). Соотношение заработной платы в сельском хозяйстве к средней по экономике по странам Союза также дифференцировано: от 57% – в Кыргызстане до 76% – в Беларуси.

Анализ производительности труда в странах Союза показал, что самый низкий показатель сложился в Кыргызстане – 9,3 тыс. долл. произведенной сельскохозяйственной продукции на одного занятого в отрасли, а самый высокий – в Республике Беларусь – 33,3 тыс. долл.

Производственный потенциал на межстрановом уровне может быть охарактеризован комплексом показателей (табл. 4).

Доля сельского хозяйства в общей ВДС свидетельствует о роли и месте отрасли в развитии экономики различных стран. В России доля сельского хозяйства в структуре ВДС в последние годы колеблется в районе 4%, что является минимальным показателем в ЕАЭС. Наибольшая доля сельского хозяйства в структуре ВДС сформировалась в Кыргызстане и Армении (13% и 12% соответственно).

Анализ темпов роста производства продукции сельского хозяйства проводится на основании ее индекса. В целях сглаживания волатильности индексов вследствие природно-климатических факторов целесообразно исследовать данный показатель за ряд лет и рассчитывать среднее геометрическое значение. Наибольшие темпы производства продукции сельского хозяйства в 2018-2022 гг. сложились в России и Казахстане (103%). Снижение объемов производства наблюдалось в Армении.

Наибольшие объемы производства сельскохозяйственной продукции на душу населения сформировались в Беларуси (1311 долл.), на втором месте – Казахстан. В Армении и России данный показатель сложился практически на одном уровне (830-860 долл.).

Максимальная доля агропродовольствия в общем объеме экспорта среди государств-членов ЕАЭС от-

Таблица 3. Индикаторы оценки трудового потенциала в сельском хозяйстве государств-членов ЕАЭС в 2022 г.

Показатели	Государство-член ЕАЭС				
	Армения	Беларусь	Казахстан	Кыргызстан	Россия
Доля занятых в сельском хозяйстве от общей численности занятых по экономике (T_1), %	22,2	8,6	12,4	17,8	5,8
Трудообеспеченность (T_2) на 1000 га сельхозугодий, человек	124,7	45	9,9	82,4	21,5
Средняя заработная плата работника в сельском хозяйстве (T_3) в месяц, долл.	541	623	673	316	969
Соотношение заработной платы в сельском хозяйстве к средней по экономике (T_4), %	59,6	75,9	61,3	57,2	71,6
Производительность труда (T_5) одного занятого, тыс. долл.	9,8	33,3	18,6	9,3	30,4

Источник: составлено и рассчитано авторами по данным ЕЭК [3, 4].

Таблица 4. Индикаторы оценки производственного потенциала сельского хозяйства в государствах-членах ЕАЭС в 2022 г.

Показатели	Государство-член ЕАЭС				
	Армения	Беларусь	Казахстан	Кыргызстан	Россия
Доля сельского хозяйства в ВДС (P_1), %	11,6	8,6	5,8	12,8	4,3
Индексы производства продукции сельского хозяйства (P_2), %	101,6	103,6	109,1	107,3	111,3
Средние геометрические индексы производства продукции сельского хозяйства за 5 лет (P_2), %	98,6	100,8	103,1	101,7	103,1
Производство продукции сельского хозяйства на душу населения (P_3), долл.	836	1311	1046	605	867
Доля агропродовольствия в общем объеме экспорта (P_4)*, %	29,4	16,8	6,2	19,9	6,6
Объемы экспорта агропродовольствия на душу населения (P_5)*, долл.	293,8	716,7	199	48,5	221,8
Доля импорта агропродовольствия в общем объеме импорта (P_6)*, %	18,1	10,8	11,9	15,5	11,3
Индекс инвестиций в ОС сельского хозяйства (P_7), %	82	93,3	106,3	105,8	92
Средние геометрические индексы инвестиций в основной капитал сельского хозяйства за 5 лет (P_7), %	87,3	101,1	118,7	116,1	101,2
Доля инвестиций в основной капитал сельского хозяйства к общему объему по экономике (P_8), %	2,9	16,2	5,6	2,2	3,7
Инвестиции в ОС сельского хозяйства на 1 га пашни (P_9), долл.	90	311	70	28	131
Инвестиции в ОС сельского хозяйства на одного занятого в отрасли (P_{10}), долл.	156	4810	1665	81	3665
Коэффициент обновления основных фондов в сельском хозяйстве (P_{11}), %	Н.д.	8,2	20,4	Н.д.	13

*Данные за 2021 г.

Источник: составлено и рассчитано авторами по данным ЕЭК, Росстата, Казстата, TradeMap [3-7].

мечена в Армении и Кыргызстане, минимальная – в России и Казахстане. Более точно аграрный экспортный потенциал характеризует показатель объемов экспорта на душу населения. Данный показатель принимает максимальные значения в Беларуси (717 долл. на человека), также высокие значения отмечены в Армении. Показатели России и Казахстана находятся на сопоставимом уровне: от 222 долл. до 199 долл. соответственно. Что касается импорта агропродовольствия, то максимальная его доля в суммарном объеме импорта страны отмечена в Армении и Кыргызстане.

Анализ динамики инвестиционного развития сельского хозяйства проводится на основании индекса физического объема инвестиций в основной капитал. С учетом специфики инвестиционных вложений целесообразно проводить расчет среднего геометрического значения данного показателя за ряд лет. Наибольшие индексы инвестиций в основной капитал сельского хозяйства в 2018-2022 гг. сложились в Казахстане (119%) и Кыргызстане (116%), при этом в Армении и России наблюдалось снижение уровня инвестиций.

Доля инвестиций в основной капитал сельского хозяйства к общему объему инвестиций по экономике свидетельствует о месте отрасли в инвестиционном процессе различных стран. Наибольшая доля инвестиций в сельское хозяйство в структуре инвестиций сформировалась в Беларуси (почти 16%), на втором месте – Казахстан (6 %).

В среднем в ЕАЭС в 2022 г. объемы инвестиций в основной капитал на 1 га пашни составили 126 долл. При этом самые высокие значения сложились в Беларуси (311 долл.), на втором месте – Россия (131 долл.). На одного занятого в отрасли в среднем по ЕАЭС приходится 3000 долл. инвестиций, при этом наблюдается существенная дифференциация от 4800 тыс. долл. – в Беларуси, до 81 долл. – в Кыргызстане.

Ввод в действие основных фондов в сельскохозяйственное производство характеризует коэффициент обновления основных фондов. Он отражает удельный вес вновь введенных за год основных фондов в общем объеме этих фондов в разрезе государств-членов ЕАЭС. В России

он сформировался на уровне 13%, в Беларуси – 9,2%.

Финансовый потенциал. Финансирование текущей и инвестиционной деятельности осуществляется как за счет собственных, так и за счет привлеченных средств. Основные показатели, характеризующие инвестиционную привлекательность со стороны финансового потенциала, представлены в табл. 5.

Рентабельность продаж отражает финансовый результат реализации продукции, а следовательно, характеризует полученную прибыль, часть которой вкладывается в развитие производства. В 2022 г. рентабельность реализованной продукции без учета субсидий в России составила 16%, в Беларуси – 12%.

Объемы государственной поддержки отрасли напрямую влияют на ее инвестиционную привлекательность и определяются в целях сопоставимости при межстрановых сравнениях на 1 га сельскохозяйственных угодий. Наибольшие объемы господдержки сложились в 2020 г. в Беларуси (более 140 долл. на 1 га), в Армении и России уровень господдержки на 1 га был приблизительно одинаковым. Минимальные значения зафиксированы в Кыргызстане.

Объемы кредитования аграрного сектора характеризуют размеры дополнительного финансирования отрасли и в целях сопоставимости рассчитываются на 1 га сельскохозяйственных угодий. Наибольшие объемы кредитования на 1 га в 2022 г. зафиксированы в Армении (около 300 долл.), на втором месте – Россия с показателем 230 долл., наименьшие – в Казахстане, что объясняется относительно небольшими объемами кредитования отрасли и значи-

тельными размерами сельхозугодий в стране.

Уровень ключевой (учетной) ставки центральных банков в целом характеризует денежно-кредитную политику стран. Среднегодовые ставки центральных банков в государствах-членах ЕАЭС в 2022 г. варьировались от 9% (в Армении) до 14% (в Казахстане).

Потребительский потенциал напрямую влияет на возможность расширения производства и инвестиций. Негативные факторы, снижающие уровень потребления – инфляция и сокращение денежных доходов населения (табл. 6).

В 2022 г. наиболее высокие темпы инфляции (потребительских цен) в странах ЕАЭС отмечены в республиках Казахстан и Беларусь – около 15%, в России рост цен был ниже и составил 13,8%.

В России и Беларуси в 2022 г. реальные денежные доходы населения снизились на 1 и 1,8% соответственно. В Казахстане за аналогичный период достигнута положительная динамика – 4,5%. Уровень бедности в республиках Казахстан и Беларусь составил 5 и 4% соответственно, России – 10%.

По уровню потребления на члена домашнего хозяйства практически по всем продуктам лидирует Россия. В Беларуси потребление молока и молочных продуктов, а также картофеля находится на уровне выше других исследуемых государств-членов ЕАЭС. В Казахстане наблюдается наибольшее потребление хлебных продуктов на душу населения. В целом в Казахстане более половины расходов домашних хозяйств приходится на покупку продуктов питания, а в Беларуси и России – 37 и 33% соответственно.

По уровню безработных высокий показатель сложился в Армении (13,4%),

Таблица 5. Индикаторы оценки финансового потенциала аграрного сектора государств-членов ЕАЭС в 2022 г.

Показатели	Государство-член ЕАЭС				
	Армения	Беларусь	Казахстан	Кыргызстан	Россия
Рентабельность реализованной продукции (F_1), %	Н.д.	12	Н.д.	Н.д.	16,3
Объемы господдержки на 1 га сельхозугодий (F_2), долл. *	34	146	20	4	32
Объемы кредитования на 1 га сельхозугодий (F_3), долл.	296	141	8	77	230
Ключевые/учетные ставки Центральных банков (F_4)** , %	9,4	12	14,1	13,1	10,5

* Данные за 2020 г. ** Усредненные значения.

Источник: составлено и рассчитано авторами по данным ЕЭК, Казстата [3, 4, 6], официальных органов статистики государств-членов ЕАЭС, Центральных банков государств-членов ЕАЭС.

Таблица 6. Индикаторы оценки потребительского потенциала государств-членов ЕАЭС в 2022 г.

Показатели	Государство-член ЕАЭС				
	Армения	Беларусь	Казахстан	Кыргызстан	Россия
Индекс потребительских цен (C ₁) к предыдущему году, %	108,6	115,2	115	113,9	113,8
Индекс оборота розничной торговли (C ₂) к предыдущему году, %	104	96	105,8	112,3	93,5
Индекс реальных денежных доходов (C ₃) к предыдущему году, %	89,6	98,2	104,5	105	99
Уровень бедности (C ₄), %	24,8	3,9	5,2	33,2	9,8
Потребление основных продуктов питания на члена домашнего хозяйства в год, кг:					
мясо и мясопродукты (C ₅)	28	82	78	22	94
молоко и молочные продукты (C ₆)	18	284	226	90	264
овощи и бахчевые (C ₇)	72	88	91	83	104
фрукты и ягоды (C ₈)	42	69	60	33	70
картофель (C ₉)	38	57	45	41	52
хлебные продукты (C ₁₀)	117	77	128	119	90
Доля потребительских расходов домашних хозяйств на продукты питания в общей структуре расходов (C ₁₁), %	Н.д.	36,8	51,2	47,3	32,9
Уровень безработицы (C ₁₂), %	13,4	3,6	4,9	4,9	3,9

Источник: составлено и рассчитано авторами по данным ЕЭК [3, 4].

Таблица 7. Индикаторы оценки финансово-экономических и социальных рисков государств-членов ЕАЭС в 2022 г.

Показатели	Государство-член ЕАЭС				
	Армения	Беларусь	Казахстан	Кыргызстан	Россия
Степень износа основных фондов в сельском, лесном и рыбном хозяйстве (R ₁), %	Н.д.	41,5	15,5	36,5*	43,9
Налоговая нагрузка на сельское хозяйство (R ₂), %**	Н.д.	3,5	5,8	Н.д.	3,6
Индексы цен сельхозтоваропроизводителей (R ₃) к предыдущему году, %	114,3	124,4	109	96	95,9
Индекс потребительских цен на продукты питания (R ₄) к предыдущему году, %	112,5	116,5	119	116,4	114,9

*Данные за 2020 г. **Данные за 2021 г.

Источник: составлено и рассчитано авторами по данным ЕЭК [3, 4].

самый низкий – в Республике Беларусь (3,6), в России – 3,9 %.

Финансово-экономические и социальные риски могут быть охарактеризованы показателями, представленными в табл. 7.

В 2022 г. самый большой износ основных фондов в сельском хозяйстве фиксировался в России и Беларуси, что обуславливает необходимость ускоренного технико-технологического обновления, а значит – инвестиций.

Налоговая нагрузка для сельского хозяйства в странах ЕАЭС достаточно низкая: от 3,5% – в Республике Беларусь и России до 5,8% – в Казахстане. В 2022 г. самые высокие индексы цен сельхозтоваропроизводителей сложи-

лись в Республиках Беларусь (124%) и Армения (114%), снижение индексов произошло в России и Кыргызстане (по 96%). Индекс потребительских цен на продукты питания вырос во всех странах Союза: от 113% – в Армении до 119% – в Беларуси.

Выводы

1. Инвестиционная привлекательность является одним из главных факторов активизации инвестиционного сотрудничества между государствами-членами ЕАЭС, увеличения объема привлекаемых инвестиций, важнейшим условием устойчивого экономического роста и повышения их конкурентоспособности.

2. Разработка методических рекомендаций по оценке инвестиционной привлекательности аграрного сектора экономики государств-членов ЕАЭС на основе системного анализа, учитывающего комплекс взаимодействующих и взаимосвязанных компонентов, объединенных в две основные подсистемы (инвестиционный потенциал и инвестиционные риски), является актуальной задачей, способствующей усилению инвестиционных процессов в странах Союза.

Список использованных источников

1. **Маслова В.В.** О методологических подходах к повышению инвестиционной привлекательности сельского хозяйства и ее оценке / В.В. Маслова, Н.Ф. Зарук // Экономика, труд, управление в сел. хоз-ве. 2023. № 3(97). С. 112-119. DOI 10.33938/233-112. EDN VGEDTY.
2. **Зарук Н.Ф.** Трудовой потенциал в системе повышения инвестиционной привлекательности сельского хозяйства регионов России // Экономика, труд, управление в сел. хоз-ве. 2023. № 12(106). С. 49-57. DOI 10.33938/2312-49. EDN FGGRWN.
3. Агропромышленный комплекс 2023. Статистика Евразийского экономического союза. Евразийская экономическая комиссия. URL: <https://eec.eaeunion.org/> (дата обращения: 11.09.2024).
4. Статистический ежегодник Евразийского экономического союза 2023. Евразийская экономическая комиссия. URL: <https://eec.eaeunion.org/> (дата обращения: 11.09.2024).
5. Федеральная служба государственной статистики. URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения: 11.09.2024).
6. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. URL: <https://stat.gov.kz/> (дата обращения: 11.09.2024).
7. Статистика международной торговли. International Trade Center. URL: <https://www.trademap.org/> (дата обращения: 11.09.2024).

Methodological Approaches to Assessing the Investment Attractiveness of Agriculture in Russia and Other EAEU Member States

V.V. Maslova, N.F. Zaruk,
M.V. Avdeev
(FGBNU FNTs VNIIESKH)

Summary. Methodological approaches to the assessment of the investment attractiveness of the agriculture in the EAEU member states are considered. Comprehensive definition of its various components is presented in the context of the EAEU member states. Algorithm for assessing the investment attractiveness of agriculture in the Eurasian Union countries is proposed.

Key words: systems approach, investment attractiveness, investment risks, investment potential, integral indicator, agriculture, EAEU member states.