

ТЕХНИКА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СЕЛА MACHINERY AND EQUIPMENT FOR RURAL AREA

В НОМЕРЕ

Техническая политика в АПК

- Федоренко В.Ф. Трансформация и интегрирование в природный
ресурсооборот технологических процессов обработки посевов риса 2
Красовская Л.В., Пчелинцева С.В., Ковшова М.В. Использование
сверточных нейронных сетей в деятельности сельхозпредприятий..... 7

Технико-технологическое оснащение АПК: проблемы и решения

- Автоуправление – не только руление
Стрижков И.Г., Чеснюк Е.Н. Оборудование стенда испытания синхронных
машин 12
Моторин О.А., Кузьмин В.Н., Степанцевич М.Н., Худякова Е.В.
Определение уровней цифровой зрелости..... 15

Технологии, машины и оборудование для АПК

- Дидманидзе О.Н., Ажмухамедов И.М., Меликов А.В., Билич О.Г. Новый
метод определения траектории движения беспилотной самоходной машины
сельскохозяйственного назначения 18
Бурак П.И., Голубев И.Г. Анализ динамики обновления парка
сельскохозяйственной техники 23
Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Хутинаев О.С., Щеголихина Т.А.,
Манохина А.А. Технология выращивания пищевого картофеля в условиях
Крайнего Севера с использованием искусственного освещения в закрытых
помещениях 26
Белик М.А., Юрина Т.А., Негреба О.Н. Увеличение продуктивности
подсолнечника путем применения биологического препарата Метабактерин 31
Аулов В.Ф., Рожков Ю.Н. Обоснование результатов испытаний на
относительную износостойкость упрочняющих покрытий, полученных методом
ТВЧ-наплавки 33
Буторин В.А., Гусейнов Р.Т., Царев И.Б. Оценка работоспособности упорного
подшипникового узла отремонтированных погружных электродвигателей..... 36
Ахалая Б.Х., Ценч Ю.С. Пневматический высевочный аппарат вакуумного
действия с универсальной дозирующей системой 39

Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение АПК

- Кириллов С.В., Виноградов А.В. Основы концепции совершенствования
электрооборудования сельских потребителей от системы электрооборудования
электрифицированной железной дороги 42

Аграрная экономика

- Шевченко А.А., Сапунова Е.А., Денисенко Е.А., Квитко А.В. К вопросу
расчёта экономической эффективности возобновляемых источников энергии 46

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)



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 25.07.24 Заказ 126

Трансформация и интегрирование в природный ресурсооборот технологических процессов обработки посевов риса

В.Ф. Федоренко,

акад. РАН, проф., д-р техн. наук,

гл. науч. сотр.,

vfm@vim.ru

f@maro.pro

(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Аннотация. Представлены результаты исследования и обоснование концептуальных подходов и физических принципов, необходимых и целесообразных при разработке природоподобных технологических процессов, технических систем и средств, принципиально отличных от наиболее распространенных и применяемых в настоящее время при возделывании риса. Предлагаемые подходы базируются на современных представлениях о физиологии и продукционных процессах растений, концепции симбиоза растений и микроорганизмов почвы, создания оптимальных условий сохранения и развития биоценозов, сформировавшихся в корнеобитаемых горизонтах почв, путем внутрипочвенных обработки, рыхления, аэрации и подачи агрохимикатов в залитые водой посевы риса.

Ключевые слова: рис, почва, природоподобные технологии, технические средства, корнеобитаемые горизонты, обработка, аэрация, симбиоз, почвенные биоценозы.

Постановка проблемы

Рис – одна из древнейших возделываемых человеком культур. В настоящее время является продуктом питания около трети населения планеты, занимает второе место после пшеницы среди зерновых по объемам производства в мире. Зерно риса – высококалорийный, легкоусваиваемый и ценный диетический продукт. [1].

Крупнейшими производителями и потребителями риса являются Китай и Индия: посевные площади составляют около 31 и 45 млн га соответственно (Россия – 0,2 млн га); валовой сбор – порядка 215 и 190 млн т (1,0 млн т), что составляет более 37 и 31% (0,19%) от мирового объема. Урожайность превышает 70 и 40 ц/га (50 ц/га) [2].

Возделывание риса – специфический, сложный, ресурсо- и энергозатратный технологический процесс. Для обеспечения максимальной реализации созданного генетического потенциала продуктивности сорта растения требуют изобилия солнечной фотосинтетической активной радиации, оптимального количества тепла, воды, кислорода и минерального питания. Выращивают рис обычно на тяжелых равнинных (горизонтальных) зем-

лях, которые земляными валами делят на участки (чеки) с обязательным затоплением (орошением) посевов водой [3, 4].

В постоянно залитых водой чеках почва в посевах риса значительно уплотняется, в ней накапливаются без доступа кислорода восстановленные соединения, которые не разлагаются и не высвобождают питательные вещества [5]. Кроме этого, в начале своего развития рис растет медленно из-за кислородной недостаточности в почве (покрыта слоем воды), сильно угнетается сорной растительностью, которая активно потребляет кислород из воды и закрывает солнечную радиацию [6]. Вследствие этого зачастую происходит гибель ростков и семян с низкой энергией прорастания, что приводит к значительному изреживанию всходов – до 75%.

Во многом по этим причинам в Китае, Японии и Вьетнаме применяется посадка риса рассадой, которую выращивают в питомниках, а затем пересаживают в чеки. Хорошо проросшие, окрепшие, качественные растения обеспечивают высокие приживаемость и урожай. В период вегетации обработку залитых водой посевов риса: рыхление, удаление сорняков и вредителей, подкормки проводят вручную. Все это позволяет собирать в некоторых провинциях Китая до двух-трех урожаев в год и обеспечивает высокую урожайность этой культуры при значительных трудозатратах [2, 7].

В России посев риса проводят семенами 1 класса крупных фракций всхожестью не менее 90% непосредственно в чеках. Последующие операции по уходу за посевами заключаются в основном в чередовании или реализации различных приемов и режимов затопления, орошения: постоянное, укороченное, прерывистое, периодическое [1, 4]. Уход за посевами риса зачастую осуществляют, используя авиацию, а в последнее время БПЛА, которые выполняют подкормки, опрыскивания для защиты от болезней и вредителей, десикацию, сеникацию. Постоянное затопление применяют на засоренных и засоленных почвах, заделка семян при этом минимальна. До появления полных всходов чеки заливают водой на 8-10 см, по мере роста глубину увеличивают до 12-15 см. Расход воды 30 м³/га. Приемы ухода не предусматривают рыхление, аэрацию почвы в залитых водой посевах риса [1, 3].

По данным Дальневосточной рисовой станции и других исследований, за счет рыхления и аэрации чеков под во-

дой при появлении всходов и до окончания фазы выхода в трубку с промежутком 5-7 дней урожайность посевов повышается на 10-15 ц/га, что составляет до 30% прибавки урожая [2, 4].

Анализ свидетельствует, что эффективных приемов и технических систем для решения принципиально важной с точки зрения физиологии растений риса задачи, обусловленной необходимостью и целесообразностью внутрипочвенных обработки, рыхления, аэрации и подачи в нужное время необходимых препаратов непосредственно в корневую систему растений, пока нет [8].

Предлагаемые природоподобный технологический процесс и техническая система в полной мере отвечают и эффективно решают эту задачу в соответствии с положениями Стратегии научно-технического развития Российской Федерации на ближайшие десять лет – переход к развитию природоподобных технологий, воспроизводящих системы и процессы живой природы, в виде технологических процессов, технических систем и средств, интегрированных в природную среду и естественный природный ресурсооборот.

Цель исследования – обоснование концептуальных подходов и физических принципов, необходимых и целесообразных для разработки природоподобных технологических процессов, позволяющих эффективно и рационально производить обработку залитых водой посевов риса.

Материалы и методы исследования

Объектами исследований выбраны результаты предшествующего изучения физиологических, агротехнических, экологических, экономических особенностей возделывания риса с учетом сформировавшихся исторических, агроклиматических, агротехнологических факторов, определяющих региональные векторы развития рисоводства. Исследования выполнялись на основании современных принципиальных представлений о физиологии растительных и почвенных биоценозов, с учетом технологических параметров, технических характеристик и потребительских свойств машин и оборудования для обработки, рыхления, аэрации, орошения, внесения агрохимикатов в корнеобитаемые слои почвы в залитых водой посевах риса.

Основные методы выполнения научно-исследовательских работ: анализ, обобщение информационных, статистических и экспериментальных сведений, проведение лабораторных и полевых исследований. В процессе работы разработаны, защищены патентами две конструкции пневмогидробуров. Первый изготовлен и обеспечивал возможность раздельной подачи под давлением воздуха, аэрозоля в виде смеси воздуха, растворов удобрений, пестицидов при использовании комбинированных наконечников в требуемых пропорциях (рис. 1) [9].

Второй пневмогидробур с защитным устройством обеспечивал возможность установки и регулирования заданной глубины погружения в залитые водой слои почвы и предотвращал обратный выброс воздуха или аэрозоля через щель между поверхностью почвы и стволом пневмогидробура (рис. 2).

Испытания и проверку результатов лабораторных исследований в хозяйственных условиях проводили с использованием изготовленной и смонтированной в кузове автомобиля мобильной лаборатории, которая позволила провести в полевых условиях ряда регионов оценку

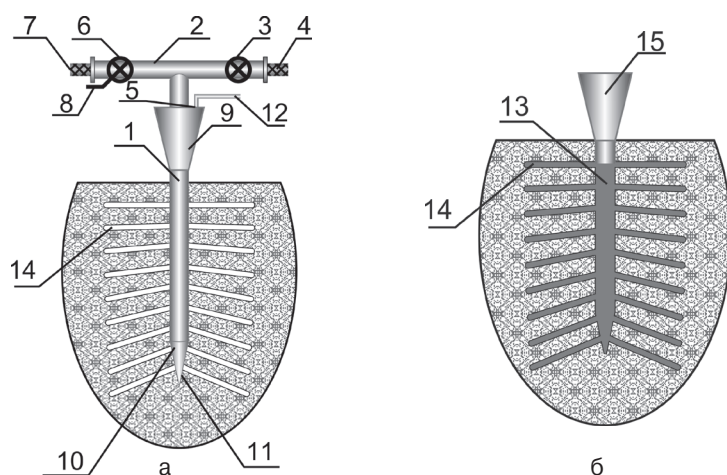


Рис. 1. Вертикальный разрез корнеобитаемого горизонта почвы в процессе работы пневмогидробура:

а – при подаче импульса сжатого воздуха; б – при подаче аэрозоля в виде смеси воздуха и растворов удобрений или пестицидов:
1 – ствол; 2 – полая рукоятка; 3 – вентиль; 4 – шланг с водой или растворами под давлением; 5 – форсунка; 6 – вентиль; 7 – шланг сжатого воздуха; 8 – рычаг ручной подачи сжатого воздуха; 9 – смесительная камера; 10 – наконечник с перфорацией; 11, 12 – инжекторы; 13 – скважины; 14 – каналы; 15 – воронка (патент № 2740805 РФ, МПК, А01С23/02)

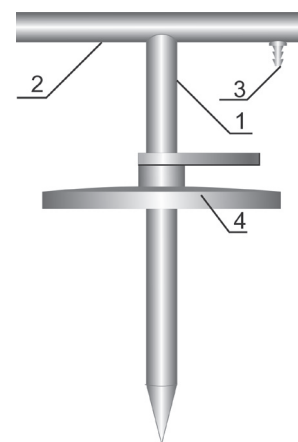


Рис. 2. Пневмогидробур с замкнутым устройством:

1 – ствол с наконечником;
2 – рукоятка;
3 – штуцеры подведения;
4 – защитное устройство
(патент № 2802309 РФ, МПК, А01С 23/02)

эффективности внутрипочвенной подачи импульсов сжатого воздуха в корнеобитаемые горизонты почвы с последующим внесением водно-воздушных смесей и водных растворов удобрений или пестицида через универсальные пневмогидробуры [8, 9].

Результаты исследований и обсуждение

В настоящее время при возделывании риса внесение удобрений и средств защиты растений от вредителей и сорняков в связи с тем, что посевы залиты водой, выполняют методом рассеивания агрохимикатов средствами малой авиации. Это имеет крайне негативные последствия для экологии и окружающей среды. Второй широко применяемый прием борьбы с сорняками заключается в сбросе воды с чеков на несколько дней и последующим заполнением их водой по мере гибели сорных растений, что экономически неэффективно, ухудшает экологию производства риса и сопряжено со значительным расходом воды [3, 5].

Недостатками известных технологических процессов и технических средств являются:

- невозможность их использования на обработке посевов риса, которые залиты слоем воды весь вегетационный период (от посева до уборки);
- конструкция известных технических систем не способна перемещаться по залитому водой полю и выполнять технологический процесс;
- энерго-, ресурсоемкость и недостаточная экологическая эффективность.

В этой связи Международный научно-исследовательский институт риса (IRRI) совместно с Программой Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП) и Deutch Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit Rice Platform (GIZ) создали платформу Sustainable Rice Platform (SRP), деятельность которой направлена на повышение эффективности использования ресурсов, устойчивости к изменению климата в рисовых системах, формирование инициативы по добровольной трансформации рынка путем разработки стандартов устойчивого

производства и преобразования глобального сектора производства риса [5, 6].

Разработанный технологический процесс – внутрипочвенное внесение пестицидов без сброса воды из чеков значительно снижает её потребление (до 50%), расход агрохимикатов (до 30%) и существенно уменьшает их негативное влияние на окружающую среду за счет внутрипочвенного внесения, повышает экологическую и экономическую эффективность предлагаемой технологии обработки посевов риса.

Техническим результатом является повышение продуктивности корнеобитаемых слоев почвы в залитых водой посевах, обеспечение достижения максимальных биологических и экологических параметров почвы при высоком качестве, мобильность, энергоэффективность технологического процесса за счет рыхления почвы и доставки непосредственно в корневую систему растений риса кислорода воздуха (аэрация), микробных биопрепаратов, удобрений, средств защиты растений и средств борьбы с сорняками.

Создаются условия и возможности внутрипочвенных обработки, рыхления, аэрации, подачи агрохимикатов непосредственно в корнеобитаемые слои почвы залитых водой посевов риса, сокращаются расходы агрохимикатов и энергозатраты, обеспечиваются максимальная сохранность биологических, экологических параметров почвы и окружающей среды, мобильность и энергоэффективность производственных процессов, повышаются качество и урожайность риса.

Схема разработанной технической системы внутрипочвенной обработки, рыхления, аэрации и подачи агрохимикатов в посевах риса представлена на рис. 3.

Устройство на колесах 4 устанавливают в начало залитого водой рисового чека, ориентируя так, чтобы направляющие 18 располагались по центру и параллельно междурядьям риса. Подают электроэнергию, и рабочие электропневмоклапаны 30 рабочего узла технической системы (рис. 4) открывают последовательно подачу сжатого воздуха по шлангам 29 через распределитель-стабилизатор 28 из ресивера 8 в каждый рабочий пневмоцилиндр 26, расположенный на рабочей ветви каждой направляющей (рис. 5), которые погружают каждый пневмогидробур 27, расположенный между включателем 19 и выключателем 20, вертикально в почву.

Одновременно открывают электропневмоклапан 35, и сжатый воздух по шлангам 34 поступает в пневмоцилиндры 2, которые поднимают опоры 3 над поверхностью воды. Электропривод 6 и ведущие звездочки 22 каждой направляющей перемещают приводные цепи 24 и прикрепленные вертикально к ним пневмоцилиндры 26 с присоединенными пневмогидробурами на опорных катках 25 по направляющим.

Пневмоцилиндры, находящиеся на рабочей стороне, достигнув включателя, открывают рабочие электропневмоклапаны, и сжатый воздух по шлангам подается в рабочие пневмоцилиндры 26, которые погружают присоединенные к ним пневмогидробуры в почву.

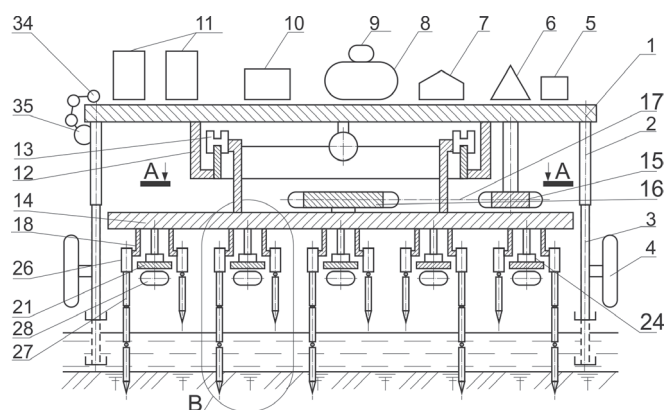


Рис. 3. Фронтальный разрез технической системы внутрипочвенной обработки залитые водой посевов риса

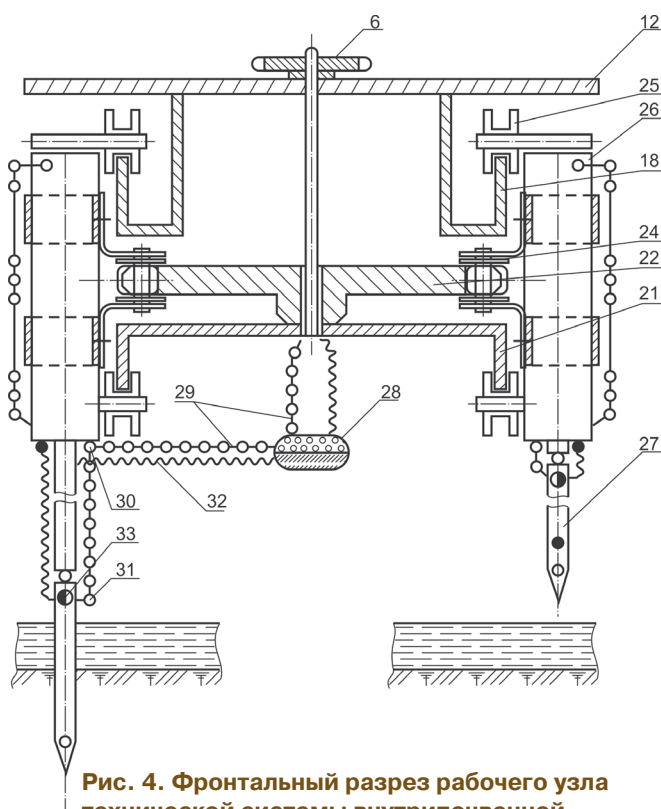


Рис. 4. Фронтальный разрез рабочего узла технической системы внутривысевной обработки залитых водой посевов риса

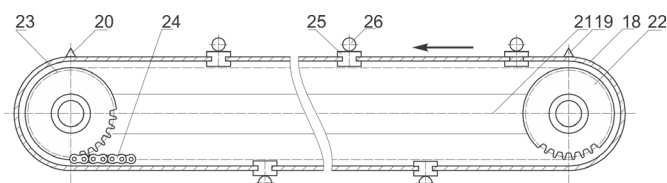


Рис. 5. Направляющая рабочего узла технической системы внутривысевной обработки залитых водой посевов риса

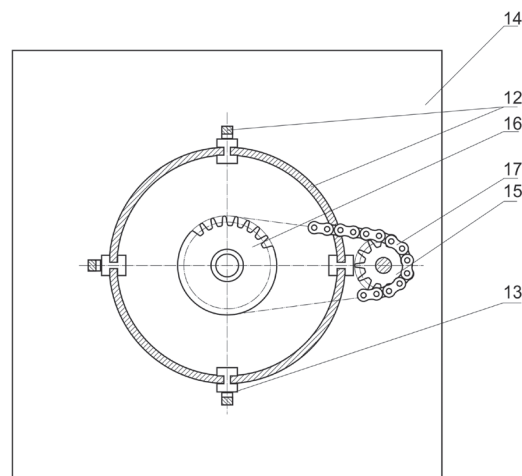


Рис. 6. Поворотный узел рабочей рамы относительно несущей рамы

При достижении нижней точки открывается дополнительный рабочий электропневмоклапан 31, и по шлангам через распределитель-стабилизатор 28 внутривысевно подают импульсы сжатого воздуха, которые производят рыхление и аэрацию. Затем открывают электропневмоклапаны агрохимикатов 34, связанные через шланги 33 с каждым пневмогидробуром, и подают агрохимикаты в залитые водой корнеобитаемые слои почвы рисовых посевов.

Когда очередной пневмоцилиндр достигает выключателя, подача импульсов сжатого воздуха и агрохимикатов прекращается, пневмоцилиндры поднимают пневмогидробуры, извлекают их из почвы и перемещают по направляющим над поверхностью воды до выключателя.

Одновременно электропривод через каждую ведущую тяговую звездочку перемещает по направляющей приводные тяговые цепи и прикрепленные вертикально к ним с шагом не менее удвоенной ширины междурядий посевов риса рабочие пневмоцилиндры с присоединенными пневмогидробурами на опорных катках. При этом пневмогидробуры, находящиеся на рабочей ветви приводной тяговой цепи каждой направляющей, погружены в почву и взаимодействуют с ней, создавая тяговое усилие, которое перемещает рабочую раму 14 и все устройство вдоль междурядий посевов риса.

Достигнув края чеки, устройство останавливают, одновременно рабочие электропневмоклапаны закрывают подачу сжатого воздуха и агрохимикатов в пневмогидробуры, находящиеся на рабочей ветви направляющих, ра-

бочие пневмоцилиндры поднимают их над поверхностью воды, подъемные электропневмоклапаны 32 несущей рамы 1 открывают по шлангам 29 подачу сжатого воздуха в подъемные пневмоцилиндры 2, которые опускают опоры 3 на почву и поднимают несущую 1 и рабочую 14 рамы (рис. 6).

Включают электропривод 6, ведущая звездочка 15 перемещает приводную цепь 17 через ведомую звездочку 16, поворачивает рабочую раму по направляющему кольцу 12 на несущих катках 13, по крайней мере, на 90°, опускает ее в рабочее положение и перемещает устройство на ширину несущей рамы, затем повторно поднимают несущую и рабочую рамы, разворачивают рабочую раму в положение, параллельное первоначальному, для обратного движения по чеке, отключают электропривод 6 поворота рабочей рамы 14, включают подачу электроэнергии, и рабочий процесс повторяется до следующей точки поворота.

Выводы

1. Рис – специфическая культура, возделывание которой обычно осуществляют на тяжелых равнинных (горизонтальных) землях, разделенных земляными валами на участки (чеки) с обязательным затоплением (орошением) посевов водой в течение всей вегетации. Формирование высокой урожайности и обеспечение максимальной реализации созданного генетического потенциала продуктивности сорта растений риса сопряжено со значительными агротехнологическими,

экологическими, экономическими трудностями и рисками. Растения риса требуют изобилия солнечной фотосинтетической активной радиации, оптимального количества тепла, воды, кислорода воздуха, необходимого ассортимента минерального питания в почвах залитых водой посевов.

2. Обоснованные концептуальные подходы и физические явления принципиально отличаются от известных и применяемых в рисоводстве в настоящее время приемов и процессов, необходимых, достаточных и целесообразных для разработки природоподобных технологических процессов, технических систем и средств возделывания риса. Они базируются на современных представлениях о физиологии и продукционных процессах растениеводства, концепции симбиоза растений и микроорганизмов почвы, создания оптимальных условий сохранения и развития биоценозов, сформировавшихся в корнеобитаемых слоях почвы, путем внутрпочвенных обработки, рыхления, аэрации и подачи агрохимикатов в залитые водой посевы риса.

3. Разработанные технологический процесс и техническая система обеспечивают эффективное решение принципиально важной с точки зрения физиологии растений риса задачи, обусловленной биологической необходимостью и целесообразностью внутрпочвенных обработки, рыхления, аэрации и подачи в нужное время необходимого и достаточного количества кислорода воздуха, удобрений, пестицидов и других препаратов непосредственно в корневую систему растений. Это в полной мере позволит решить задачу, поставленную Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации.



Список использованных источников

1. Система рисоводства Российской Федерации / Под общ. ред. С.В. Гаркуши. Краснодар: ФГБНУ «ФНЦ риса»; Просвещение-Юг, 2022. 368 с.
2. **Голубев А.В.** Возможности развития растениеводства России в условиях глобальных вызовов // Аграрный научный журнал. 2020. № 11. С. 4-10.
3. **Харитонов Е.М., Гончарова Ю.К., Зеленский Г.Л.** Перспективы органического земледелия в отечественном рисоводстве и импортозамещения длиннозерных сортов риса // Биологические основы защиты растений: сб. науч. тр. по материям Жученк. чтений VII / Федер. науч. центр биол. защиты растений. Краснодар, 2022. С. 248-253.
4. Перспективная ресурсосберегающая технология производства риса: метод. реком. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2009. 68 с.
5. Анализ и векторы развития отрасли рисоводства / Н.Н. Малышева, С.В. Кизинек, А.Е. Хаджиди, Е.В. Кузнецов // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13. № 4. С. 1-25.
6. **Зеленский Г.Л.** Рис: биологические основы селекции и агротехники. Краснодар, 2016. 238 с.
7. **Гринь В.Г., Овчинников А.С., Шишкин А.С., Пахомов А.А.** Инновационные технологии при выращивании риса // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 2. С. 131-143.
8. **Мишуrow Н.П.** и др. Результаты исследований подпочвенного орошения многолетних эфиромасличных культур с использованием гидрогеля // Техника и оборудование для села. 2022. № 11. С. 11-15.
9. **Мишуrow Н.П., Федоренко В.Ф.** и др. Инновационные технологии и технические средства для подпочвенного полива многолетних насаждений: науч. изд. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 156 с.

Transformation and Integration of Technological Operations for Processing Rice Crops Into Natural Resource Circulation

V.F. Fedorenko

(FGBNU FNATS VIM)

Summary. The article deals with the results of the study and justification of conceptual approaches and physical principles which are necessary and appropriate for the development of nature-like technological processes, technical systems and means fundamentally different from the most common and currently used in rice cultivation. The proposed approaches are based on modern ideas about the physiology and production processes of plants, the concept of symbiosis of plants and soil microorganisms, creating optimal conditions for the preservation and development of biocenoses formed in root-inhabited soil horizons through subsoil cultivation, loosening, aeration and supply of agrochemicals to water-flooded rice crops.

Key words: rice, soil, nature-like technologies, technical means, root-inhabited horizons, processing, aeration, symbiosis, soil biocenoses.

УДК 338.2

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-7-7-9

Использование сверточных нейронных сетей в деятельности сельхозпредприятий

Л.В. Красовская,*канд. техн. наук, доцент кафедры,
kraslud@yandex.ru***С.В. Пчелинцева,***канд. техн. наук, доцент кафедры,
pchelintseva@inbox.ru
(ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева»);***М.В. Ковшова,***канд. экон. наук, проф. кафедры,
mkovshova@mail.ru**(Российский университет кооперации)*

Аннотация. Рассматривается использование сверточных нейронных сетей (Convolutional Neural Networks, CNN) в деятельности предприятий сельского хозяйства на примере выявления болезни листьев картофеля. Описываются методы предварительной обработки данных, представлены алгоритмы распознавания на основе CNN. Предлагается решение задачи оценки и классификации состояния картофеля по листьям с использованием методов глубокого обучения. Разработанная модель способна определять наличие болезни на листьях картофеля с точностью 96,7%.

Ключевые слова: сверточные нейронные сети, болезнь листьев картофеля, алгоритмы распознавания, CNN.

Постановка проблемы

Визуальный контроль состояния сельскохозяйственных культур на разных этапах их роста и развития является одним из основных и существенных при проведении оценки состояния и диагностики растений. При этом широкое использование методов искусственного интеллекта, машинного обучения и цифровизации в агропромышленном секторе позволяет уже сейчас решать достаточно широкий круг задач в области сельского хозяйства на всех этапах получения готовой продукции [1, 2].

В последние годы методы распознавания образов, машинного

глубокого обучения стали широко использоваться для решения проблемы выявления болезни листьев сельскохозяйственных культур, в том числе картофеля [1-4]. Одним из наиболее перспективных подходов является использование сверточных нейронных сетей (Convolutional Neural Networks, CNN), которые показывают высокую точность при распознавании образов [5-7].

Сверточные нейронные сети (CNN) относятся к классу алгоритмов машинного обучения, специально разработанных для анализа и обработки изображений. Они основаны на концепции свёртки, которая позволяет автоматически извлекать значимые признаки объектов из изображений. Благодаря своей эффективности и точности в распознавании CNN получили широкое применение в различных областях, в том числе в сфере сельского хозяйства при решении задач, предполагающих распознавание образов, реализацию компьютерного зрения [1].

Картофель является ценной и широко возделываемой во всем мире культурой, клубни которой могут использоваться в продовольственных, кормовых и технических целях.

Заболевания растений могут привести к значительным потерям урожая и снижению качества продукции, поэтому возможность своевременной оценки состояния растения и ранней диагностики болезни культуры, вызванной поражением бактериальной или грибковой инфекцией, несбалансированностью минеральных удобрений и климатическими факторами произрастания, является весьма актуальным направлением исследований [8].

Цель исследования – использование сверточных нейронных сетей в деятельности сельскохозяйственных предприятий, в том числе создание

модели, способной определять наличие болезни на листьях картофеля с высокой точностью.

Материалы и методы исследования

Для анализа и точности решения задачи классификации и выявления болезней картофеля, проявляющихся на листьях, использовали сверточные нейронные сети CNN. Были рассмотрены все этапы решения задачи классификации листьев с использованием аппарата нейронных сетей, включающие в себя подготовку обучающей выборки, предварительную обработку данных, выбор структуры нейронной сети и алгоритма обучения. В результате проведенного исследования определена структура сверточной нейронной сети, позволяющая получить приемлемую точность распознавания болезни картофеля по листьям.

В работе были использованы наборы данных изображений листьев картофеля, которые были заимствованы с открытой веб-платформы kaggle.com и представляли собой множество изображений здоровых и пораженных болезнью листьев. Изображения получены на полях сельскохозяйственных предприятий посредством камер высокого разрешения. Для предварительной обработки изображений и повышения их качества использовались методы фильтрации и уменьшения размерности.

Для решения задачи классификации использовалась сверточная нейронная сеть (Convolutional Neural Networks, CNN), архитектура которой изменялась, качество классификации оценивалось с целью получения приемлемой точности распознавания в диапазоне 75-90%.

Для реализации сверточных нейронных сетей применялся язык программирования Python (среда про-

граммирования Jupyter Notebook. Python), являющийся одним из самых популярных инструментов машинного обучения и анализа данных с широким набором библиотек и функций для реализации методов глубокого обучения, среди которых библиотека TensorFlow с модулем Keras. Выбор среды программирования Jupyter Notebook обусловлен также удобством интерактивной среды программирования при написании кода и работе с функциями, реализующими методы машинного обучения, и возможностью визуализировать полученные результаты.

В качестве множества данных при решении задачи классификации и распознавания больных листьев использовались изображения листьев здоровых и больных растений, находящихся в открытом доступе и расположенных на платформе Kaggle. Множество изображений листьев заболевших растений включало выборки с ранними и поздними признаками проявления болезни. Таким образом, обучающее множество можно разделить на три класса, каждый из которых характеризует здоровые листья, листья с ранними симптомами болезни, а также листья с выраженными симптомами поздней стадии болезни (см. рисунок).

В соответствии с рассматриваемыми классами данные были размечены соответствующим образом, сформировано выходное (целевое) множество классов, используемое в процессе обучения нейронной сети. Все множество данных, в свою оче-

редь, было разбито на обучающее, контрольное (использовались в процессе обучения) и тестовое множество, которое позволяло провести объективное тестирование обученной нейронной сети на данных, на которых нейронная сеть не была обучена. Соотношение обучающего, контрольного и тестового подмножеств составило 70, 15 и 15% соответственно.

Изображения листьев представлены в формате jpeg размером 256×256 в полноцветной RGB-модели, описанной тремя матричными структурами, характеризующими яркость каждого цвета. Для предварительной обработки изображения и уменьшения его размерности в работе использованы функции библиотеки OpenCV. При обучении размер изображений был уменьшен до 224×224 пикселей. Небольшое уменьшение размерности позволяет сократить время обучения, получить результат решения задачи и обучить нейронную сеть в случае ограничений в вычислительных ресурсах.

Для улучшения качества изображений применялись различные методы фильтрации, в частности фильтр Гаусса для сглаживания изображений и медианный фильтр для удаления импульсного шума.

Результаты исследования и обсуждение

Для распознавания и классификации болезней картофеля выбрана и использовалась сверточная нейронная сеть, представляющая собой наиболее эффективный инструмент распознавания образов, обеспечивающий

точность распознавания до 95-98%. Архитектура сверточной нейронной сети специфична и отличается от традиционной нейронной сети прямого распространения. Предложенная Яном Лекуном в 1988 г. сверточная нейронная сеть, нацеленная на эффективное распознавание образов и специфику работы с изображениями, имеет соответствующие слои и архитектуру.

Структура сверточной нейронной сети, которая показала максимальную точность, содержала последовательно следующие слои: слой свертки (32, 3×3), активационный слой (ReLU), слой пулинга (maxPooling (2×2)), слой свертки (64, 3×3), активационный слой (ReLU), слой пулинга (maxPooling (2×2)), слой свертки (64, 3×3), активационный слой (ReLU), Flatten-слой, слой прямого распространения (полносвязный).

Число настраиваемых параметров при обучении в сверточной нейронной сети существенно больше, чем, например, в нейронной сети прямого распространения, что существенно влияет на время обучения более сложной структуры нейронной сети и, что важно, на качество результата обучения и требования к вычислительным ресурсам. Поэтому важно было определить минимально возможную структуру сверточной нейронной сети, которая позволяла бы получить приемлемую точность классификации листьев картофеля.

Для обучения сверточной нейронной сети традиционно используется алгоритм обратного распростра-



а



б



в

Примеры изображений листьев картофеля разных классов:

а – здоровые листья; б – листья с легким поражением болезнью (ранняя стадия); в – листья с существенным поражением болезнью

нения ошибки. В качестве метода оптимизации использовался стохастический оптимизационный алгоритм Адама, являющийся одним из наиболее эффективных при обучении нейронных сетей. Поскольку процесс обучения представляет собой оптимизационный алгоритм минимизации целевой функции ошибки, зависящей от параметров сети, то каждая реализация обучения может давать разную точность решения задачи по причине возможного попадания в локальный минимум, вместо глобального, что приводит к нахождению не самого лучшего варианта сочетания параметров нейронной сети. При анализе точности обучение нейронной сети целесообразно провести определенное число раз при одних и тех же ее параметрах и с той же обучающей выборкой и оценивать решение для нескольких реализаций, выбрав нейронную сеть, которая дает большую точность.

После обучения модель сверточной нейронной сети была протестирована методом кросс-валидации, что позволило оценить производительность модели на независимой выборке данных, которая не использовалась в процессе обучения (15% от общего объема данных).

Таким образом, проведение тестирования с использованием метода кросс-валидации на выборке данных, состоящей из 200 изображений здоровых и в разной степени больных листьев, позволило оценить точность и эффективность модели. Тестирование показало, что разрешение изображений (224×224 пикселей) было достаточным для обучения и достижения приемлемой точности диагностики болезни листьев картофеля.

Полученная точность классификации листьев картофеля для различных структур нейронной сети при увеличении слоев сверки и пулинга (дискретизации) варьировалась в пределах 78,6–96,8%. Максимальная точность диагностики составила 96,7%. Таким образом, можно говорить об успешном решении задачи классификации выбранной модели нейронной сети и ее способности правильно определять наличие бо-

лезни на листьях картофеля в большом количестве случаев.

Для оценки результатов использовали несколько метрик, таких как точность, полнота и F1-мера. Эти метрики позволяют оценить качество модели и ее способность правильно определять наличие болезни на листьях картофеля.

Для реализации сверточных нейронных сетей применяли библиотеку TensorFlow, которая является одной из популярных библиотек для машинного и глубокого обучения. TensorFlow предоставляет широкий набор инструментов и функций для создания и обучения моделей на основе CNN. Кроме того, использовали библиотеку Keras, предоставляющую высокоуровневый интерфейс для работы с TensorFlow. Keras облегчает создание и обучение моделей, а также позволяет легко настраивать их параметры и оптимизировать производительность.

Выводы

1. В результате проведенного исследования были обучены различные структуры сверточных нейронных сетей и рассмотрены модели, позволяющие получить приемлемую точность решения задачи классификации в диапазоне 86–96,8% без избыточности структуры сверточной нейронной сети. Максимальная точность, которая способна определять наличие болезни на листьях картофеля, составила 96,7%. Полученная точность является весьма высокой, а решение задачи диагностики довольно эффективным для решения задачи сверточной нейронной сетью в области выявления болезней картофеля по листьям.

2. Модель, основанная на сверточных нейронных сетях, демонстрирует высокую эффективность и точность в обнаружении болезни листьев картофеля и может быть использована в качестве инструмента для мониторинга заболевания культуры картофеля на полях сельскохозяйственных предприятий. Раннее выявление заболевания позволяет предпринять меры по лечению и предотвращению значительных потерь урожая.

Список используемых источников

1. Зарубежный опыт цифровизации сельского хозяйства: аналит. обзор / Мишуров Н.П. [и др.]. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 224 с.
2. Шутьков А.А. Будущее искусственного интеллекта и цифровых технологий в АПК / Шутьков А.А., Лясников Н.В. // Экономика и социум: современные модели развития. 2018. Т.8. № 4 (22). С. 5–16.
3. Распознавание изображений сельскохозяйственных культур, растений и лесных массивов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2020. № 3. С. 202–212.
4. Gardner M.-A., Sunkavalli K., Yumer E., Shen X., Gambaretto E., Gagné C., Lalonde J.-F. Learning to predict indoor illumination from a single image. ACM Transactions on Graphics (Proceedings of SIGGRAPH Asia), preprints, 2017.
5. Lalonde J.-F., Efros A.A., Narasimhan S.G. Estimating the natural illumination conditions from a single outdoor image. International Journal of Computer Vision, 98(2): 123–145, 2012.
6. Хэ К. Глубокое остаточное обучение для распознавания изображений / К. Хэ, К. Чжан, С. Рен, Дж. Сунь : сб. матер. конф. IEEE по компьютерному зрению и распознаванию образов (CVPR). 2016. С. 770–778.
7. Годунов А.И. Сегментация изображений и распознавание объектов на основе технологии сверточных нейронных сетей / Годунов А.И., Баян С.Т., Егоров П.С. // Надежность и качество сложных систем. 2021. № 3. С. 62–73.
8. Астахов В.С. Факторы, влияющие на урожайность сельскохозяйственных культур и их качество // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. Горки: БГСХА, 2020. Вып. 5. С. 327–332.

The Use of Convolutional Neural Networks by the Agricultural Enterprises

L.V. Krasovskaya, S.V. Pchelintseva
(RGAU-MSHA named after K.A. Timiryazev)
M.V. Kovshova

(Russian University of Cooperation)

Summary. The use of convolutional neural networks (CNN) by the agricultural enterprises for identifying potato leaf diseases is considered. Data preprocessing methods and CNN-based recognition algorithms are presented. The problem of assessing and classifying the condition of potatoes by leaves can be solved by using deep learning methods. The developed model is capable of determining the presence of disease on potato leaves with the accuracy of 96.7%.

Key words: convolutional neural networks, potato leaf disease, recognition algorithms, CNN.

АВТОУПРАВЛЕНИЕ – НЕ ТОЛЬКО РУЛЕНИЕ

Сегодня ведущие сельхозмашиностроители предлагают решения, которые действительно выводят работу в полях на совершенно новый уровень, предоставляя хозяйствам возможность повысить качество и скорость работ и одновременно экономить десятки и сотни тысяч рублей каждый сезон. Рассказываем, какие ощутимые выгоды получают владельцы всего нескольких электронных из большой линейки электронных инструментов Ростсельмаш – систем автоуправления РСМ Агротроник Пилот 1.0 электроруль и РСМ Агротроник Пилот 1.0 и системы РСМ Автозаполнения кузова.



Системы автоуправления для тракторов и комбайнов

PCM Агротроник Пилот 1.0 электроруль, как видно из названия, представляет собой устройство с электроприводом. Система разработана для тракторов серии Ростсельмаш 2000, но может использоваться на другой технике со схожей «геометрией» и исправным рулевым управлением. Обладая важным преимуществом подобных инструментов – отсутствием необходимости вмешательства в рабочие магистрали агромашины, РСМ Агротроник Пилот 1.0:

- ✓обеспечивает такую же точность прохода, как и гидравлические системы – до 2,5 см при использовании поправочного сигнала RTK-станции;
- ✓ведет машину по параллельным прямым, повторяющимся кривым, по курсу, вкруговую;
- ✓самостоятельно выполняет развороты, обрабатывает разворотную полосу;
- ✓за 20 м до выезда из загонки подает звуковой сигнал о необходимости выглубления рабочих органов агрегата.

Согласно практическим данным, сезонный прирост производительности трактора на полевых работах может составлять более 35% в зависимости от вида операции, ширины захвата орудия и квалификации оператора. Чем меньше опыта у сотрудника, т.е. чем большую величину перекрытий он допускает, тем значительнее эффект от применения системы автоуправления РСМ Агротроник Пилот 1.0 электроруль. Разумеется, пропусков, непропусков уже не будет.

PCM Агротроник Пилот 1.0 – гидравлическая система автоуправления для уборочных машин. Поскольку устройства этого типа требуют интеграции в рабочие магистрали техники, предпочтительнее заказывать машину с уже установленным в заводских условиях «автопилотом». Однако монтаж могут выполнить и специалисты ближайшего технического центра Ростсельмаш. РСМ Агротроник Пилот 1.0:

- ✓принимает задания при наличии системы РСМ Агротроник;
- ✓обеспечивает точность вождения машины до 2,5 см от прохода к проходу при использовании сигнала RTK-станции;
- ✓ведет машину по параллельным прямым, повторяющимся кривым, по курсу (азимуту);
- ✓самостоятельно выполняет развороты, а при установке системы РСМ Круиз-контроль автоматически снижает скорость движения перед выходом из загонки и плавно выводит машину на рабочую скорость после возвращения;
- ✓самостоятельно поднимает и опускает жатку / подборщик перед разворотом и после его совершения;
- ✓позволяет объединять комбайны в звено, причем машины могут быть агрегированы с жатками разной ширины.

Данные полевых наблюдений показали, что применение системы автоуправления РСМ Агротроник Пилот 1.0 на зерноуборочном комбайне позволяет сократить срок страды более чем на 20%. Операторы,

помимо значительного облегчения работы, отмечают отсутствие клиньев и непрокосов и «эстетичность» убранного участка за счет соблюдения «геометрии уборки».

Система РСМ Автозаполнение кузова для кормоуборочных комбайнов

Система РСМ Автозаполнение кузова – один из инструментов помощи операторам кормоуборочных комбайнов. Разработана для машин серии Ростсельмаш F 2000, штатно устанавливается на F 2650, для остальных моделей линейки доступна в качестве опции. Интегрируется с РСМ Агротроник и работает в паре с системой РСМ Контроль силосопровода.

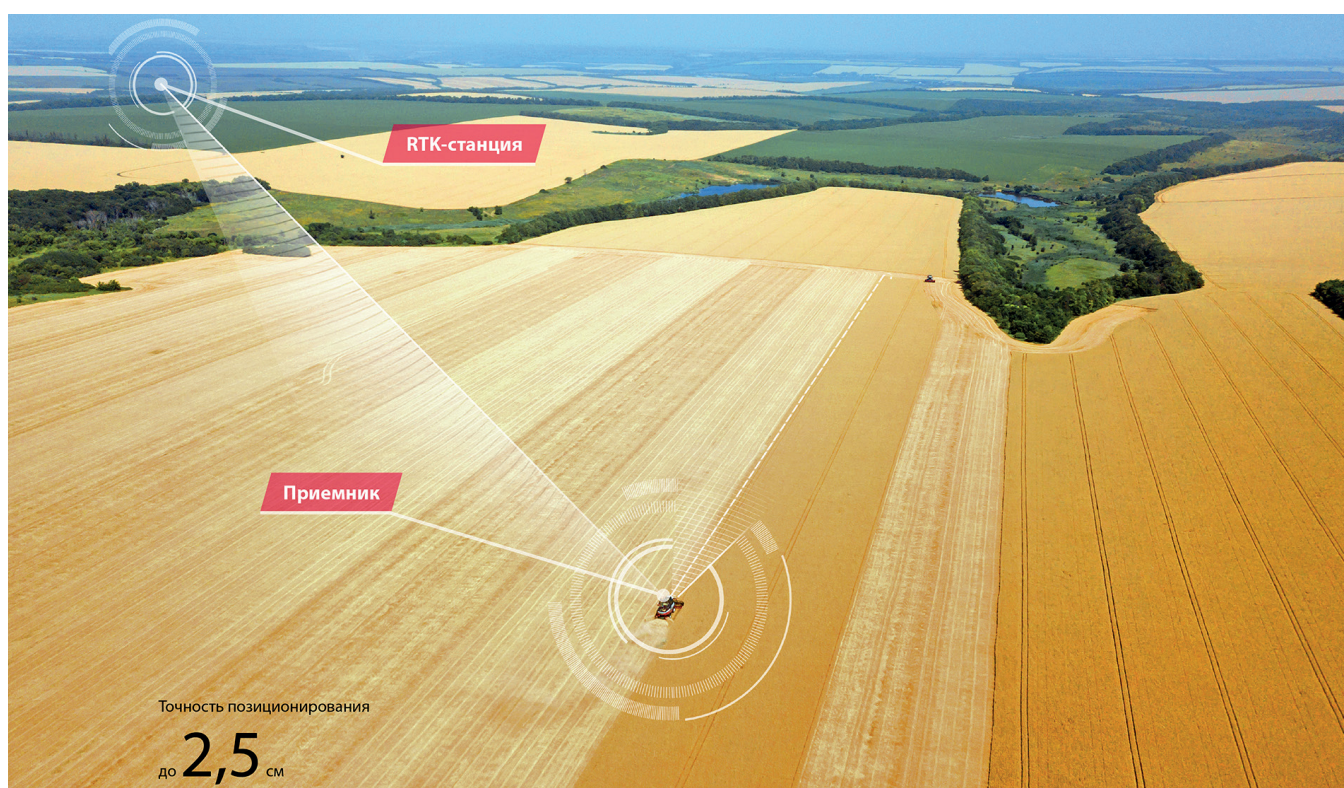
Управление самоходным кормоуборочным комбайном – сложная задача, требующая от механизатора выполнения нескольких задач в течение всего дня: контроль за заполнением транспортного средства, координация и контроль движения на поле, контроль производительности машин, визуальный контроль за массой поступающей в адаптер. Операторы комбайна получают выгоду от системы РСМ Автозаполнение, которая упрощает процесс за счет сокращения количества времени, затрачиваемого оператором на контроль процесса наполнения грузовика. Эксперименты с использованием передовой технологии отслеживания глаз позволили отследить, на чем было сосредоточено внимание оператора во время работы. Операторы, убирающие кукурузу, тратят около 35% времени на наблюдение за процессом заполнения кузова. Использование РСМ Автозаполнение

позволяет снизить до 23% времени на мониторинг процесса заполнения кузова. Таким образом, высвобождается дополнительное время, которое можно сосредоточить на контроле за массой, поступающей в адаптер.

При подаче транспорта под загрузку камера «снимает» кузов и передает его изображение в блок обработки информации РСМ Автозаполнение кузова. Электроника определяет габариты прицепа или кузова и рассчитывает оптимальное положение силосопровода и его козырька. Данные передаются в блок управления системы РСМ Контроль силосопровода, и уже он отдает команды исполнительным механизмам. Загрузка производится строго вдоль продольной оси транспортного средства, козырек устанавливается таким образом, чтобы масса не «била в борт» и, разумеется, не подавалась мимо кузова. По мере заполнения система автоматически смещает силосопровод и изменяет при необходимости угол наклона козырька.

В результате исключаются просыпание массы мимо транспортного средства во время загрузки и образование слишком больших «горок», которые могут «способствовать» потере корма на пути с поля. Оператор машины полностью освобождается от контроля за зоной выгрузки и управления загрузкой, что значительно снижает его утомляемость.

Дополнительно кормоуборочный комбайн можно оснастить системой автоподруливания РСМ Агротроник Пилот, таким образом, отдать автоматике еще один важный процесс управления машины, что также позволит дополнительно переключить внимание на контроль поступающей массы в адаптер.



УДК 631.316.313

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-7-12-14

Оборудование стенда испытания синхронных машин

И.Г. Стрижков,*д-р техн. наук, проф.,***Е.Н. Чеснюк,***канд. техн. наук, доц.**(ФГБОУ ВО «КубГАУ**имени И.Т. Трубилина»)*

Аннотация. Приведено описание оборудования для испытания синхронных машин. Использован предельно короткий замкнутый контур передачи механической и электрической мощности. Для регулирования угла нагрузки синхронных машин применена цепная передача с регулированием длины нагруженного участка цепи. Короткий контур циркуляции мощности минимизирует потери энергии, а применение цепной передачи упрощает регулирование нагрузки.

Ключевые слова: синхронные машины, испытательный стенд, цепная передача.

Постановка проблемы

В сельскохозяйственном производстве используется обширный парк синхронных машин. Генераторы используются на многочисленных резервных электростанциях, а также в энергоустановках возобновляемой энергетики: в гидро- и ветроустановках; на отдельных предприятиях по переработке сельскохозяйственного сырья используются теплоэлектроцентрали. Генераторы и двигатели применяют в quadroкоптерах большого радиуса действия, используемых в лесном хозяйстве и природоохранных организациях. Синхронные двигатели находят применение на крупных насосных станциях мелиоративных систем [1-3], в системах хозяйственного и питьевого водоснабжения, в приводах компрессоров большой и средней мощности как имеющие лучшие энергетические показатели среди всех типов электродвигателей.

Большой парк синхронных машин требует использования специализированных ремонтных предприятий и специального оборудования послеремонтных испытаний. Для этого используются испытательные стенды различных конструктивных схем, подробное описание которых приводится в работах [4, 5]. Особую сложность представляют испытания синхронных машин при регулируемой нагрузке, что сопряжено с большими потоками передаваемой мощности. Растут требования к подготовке кадров в области испытаний синхронных машин, а также к испытательному оборудованию учебных лабораторий высших и специальных учебных заведений, осуществляющих подготовку этих кадров.

Испытание синхронных машин при нагрузке с использованием разомкнутых контуров передачи мощности является энергозатратным процессом. К тому же испытательное оборудование весьма сложно и требует больших матери-

альных затрат как на комплектование предприятия этим электрооборудованием, так и на проведение самих испытаний, включая удаление из испытательной лаборатории выделяемого тепла. Современные испытательные лаборатории комплектуются источниками трехфазного и постоянного тока, сложными преобразовательными агрегатами, что делает актуальной задачу снижения капитальных затрат на испытательное оборудование и расход электроэнергии при испытаниях.

Как правило, нагрузка испытываемой машине создается применением другой электрической машины соизмеримой мощности. Часто для этого используются машины постоянного тока, лучше других поддающиеся регулированию. Они дополняются весьма сложными и дорогостоящими преобразовательными устройствами, являющимися источником дополнительных потерь электроэнергии.

Вместе с тем в качестве вспомогательной машины испытательного стенда, играющего роль приводного двигателя при испытании генератора и нагрузочного генератора при испытании двигателя, наиболее рационально использовать другую синхронную машину. Это позволяет минимизировать число ступеней преобразования энергии в испытательном оборудовании и создавать замкнутые контуры передачи мощности при испытаниях с минимальными потерями энергии.

Цель исследования – разработка стенда для испытания синхронных машин: генераторов и двигателей под нагрузкой с использованием предельно короткого замкнутого контура передачи механической и электрической мощности.

Материалы и методы исследования

Для регулирования нагрузки необходимо изменять взаимное расположение магнитных осей роторов испытываемой и нагрузочной машин. Такое изменение может быть произведено с помощью цепной передачи, соединяющей валы взаимно нагружаемых машин с изменяющейся длиной её нагруженной части [6].

Такое решение позволяет плавно регулировать нагрузку перемещением дополнительной регулировочной звездочки при минимальном числе элементов нагрузочного устройства. На рис. 1 представлена кинематическая схема испытательного стенда в двух проекциях.

Испытательный стенд включает в себя синхронные машины 1 и 2, одна из которых или обе являются объектом испытания, на валах этих машин закрепляют звездочки 3 и 4 цепной передачи. В зависимости от соотношения чисел полюсов $p_1 : p_2$ машин звездочки имеют числа зубцов Z_1 и Z_2 , находящиеся в соотношении $Z_1 : Z_2 = p_1 : p_2$. В этом случае обе машины имеют частоту вращения вала, совпадающую с частотой вращения магнитного поля.

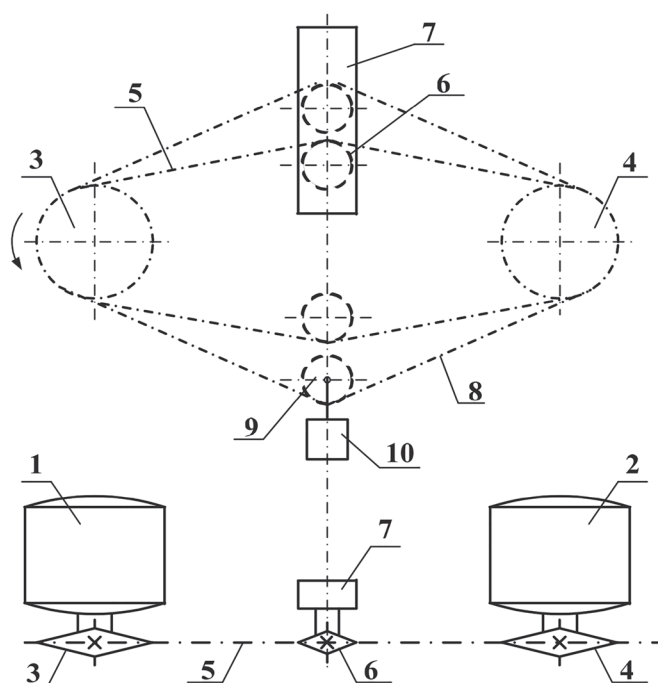


Рис. 1. Кинематическая схема испытательного стенда

Цепная передача, кроме звездочек, содержит цепь с нагруженной ветвью 5 (верхний участок цепи между звездочками), длина которой регулируется изменением положения регулировочной звездочки 6, не несущей механической нагрузки и закрепленной на перемещающем ее устройстве 7, и холостую ветвь 8 (нижний участок цепи между звездочками), где расположено натяжное устройство, предназначенное для компенсации провисания холостой ветви.

Натяжное устройство состоит из звездочки 9 и закрепленного на ней груза 10, которые могут перемещаться в вертикальном направлении, вызывая натяжение холостой ветви, предотвращающее свободное провисание этого участка цепи. При перемещении звездочки 6 вверх цепь занимает положение, указанное пунктирной линией. Перемещающее устройство может иметь различную конструкцию: в частности, состоять из передачи ходовым винтом с ручным или моторным приводом ходового винта и перемещающейся неразъемной гайки, на которой установлена звездочка 6 (на рис. 1 эти устройства не показаны). Соответствующее перемещение звездочки 9 обеспечивает натяжение холостой ветви.

Статорные обмотки машин присоединены к общему источнику электроэнергии (сети) испытательной лаборатории с согласным чередованием фаз (направлением вращения магнитного поля) по традиционным схемам «звезда» или «треугольник».

Принцип управления стендом состоит в следующем. Примем, что числа пар полюсов p машин одинаковы ($p_1 = p_2$) и число зубцов Z ведущей и ведомой звездочек в этом случае одинаково ($Z_1 = Z_2$). Примем также, что в нижнем положении звездочки 6 (сплошные линии звездочек 6 и 9 и цепи 5 и 8) магнитные оси роторов машин совпадают по направлению (угол между магнитными осями роторов

обеих машин равен нулю и электродвижущие силы обеих машин совпадают). В этом случае при работе двухмашинного агрегата векторы электродвижущих сил холостого хода машин совпадают по направлению и машины имеют активные составляющие тока якоря, покрывающие потери в машинах. Такое исходное состояние машин устанавливается при наладке, но не является обязательным.

При перемещении звездочки 6 в верхнее положение (пунктирные линии звездочек и цепи) длина ведущей ветви цепи увеличивается и звездочки, а вместе с ними и магнитные оси роторов машин изменяют взаимное расположение в пространстве: у машины 1 звездочка и ротор проворачиваются в направлении, противоположном направлению вращения ротора, т.е. в сторону отставания; у машины 2 – в обратном направлении, т.е. в сторону опережения. Машина 1 при этом переходит в режим двигателя, а машина 2 – генератора.

Активный ток обеих машин определяется величиной угла рассогласования обеих звездочек. Плавное изменение положения звездочки 6 приводит к плавному регулированию активного тока машин. Этот ток замыкается в электрическом контуре машин и из сети потребляется активный ток, компенсирующий потери мощности в элементах устройства – двигателе, генераторе и цепной передаче. Потребляемая из сети активная мощность может быть существенно меньше механической мощности двигателя и генератора.

Результаты исследований и обсуждение

Для практического применения предложенного испытательного стенда важным является установление зависимости угла нагрузки – основной независимой переменной величины, характеризующей электромеханическое состояние синхронной машины – от перемещения нагрузочной звездочки цепной передачи.

Для установления связи между линейным перемещением нагрузочной звездочки от нейтрального положения и углом нагрузки двигателя и генератора рассмотрим геометрические соотношения на рис. 2, где D – расчетный диаметр звездочек; L_1 – расстояние между осями вращения двигателя и генератора; L_2 – длина плеча нагруженной части цепной передачи; h – отклонение нагрузочной звездочки от нейтрального положения; α – центральный угол перемещения звездочки генератора при изменении длины плеча нагруженной части цепной передачи.

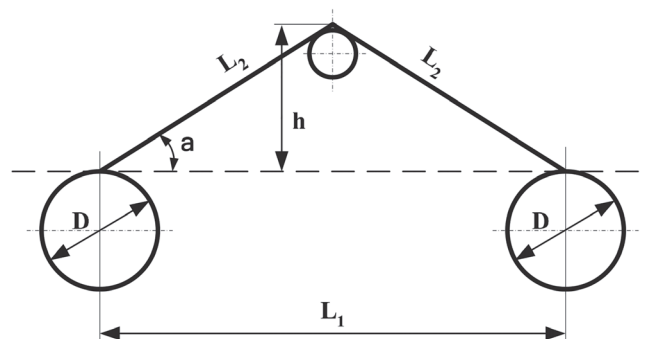


Рис. 2. Расчетная схема цепной передачи

При $h = 0$ углы нагрузки $\Theta_1 = \Theta_2$ (исходное состояние оборудования). Длина нагружаемой части цепи составляет L_1 .

При перемещении нагрузочной звездочки на величину h длина нагрузочной части цепи увеличится до $2L_2$. При этом

$$L_2 = \sqrt{(0,5 \cdot L_1)^2 + h^2}. \quad (1)$$

В тригонометрической форме параметр L_2 определяется выражением

$$L_2 = \frac{h}{\sin \alpha}, \quad (2)$$

где значение $\sin \alpha$ определяется тангенсом этого угла, вычисляемого по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{0,5 \cdot L_1}. \quad (3)$$

Изменение длины участка цепи составит

$$\Delta L = 2L_2 - L_1, \quad (4)$$

что приводит к проворачиванию звездочек на угол β , определяемый в радианах по отношению:

$$\beta = \frac{2 \cdot \Delta L}{D}. \quad (5)$$

Связь между углом поворота звездочки и углом нагрузки каждой синхронной машины устанавливается соотношением:

$$\Theta = p \cdot \beta \quad (6)$$

или

$$\Theta = \frac{2p \cdot \Delta L}{D}. \quad (7)$$

Решая совместно уравнения (1-3), получим следующее соотношение:

$$\Theta = \frac{2p(2 \frac{h}{\sin \alpha} - L_1)}{D}. \quad (8)$$

В экспериментальном испытательном стенде учебной лаборатории электрических машин кафедры электрических машин и электропривода КубГАУ использованы синхронные машины (генераторы) марки GFA174B-5,0 (220 В, 50 Гц, 1500 мин⁻¹, 5 кВт), звездочки на валах машин имеют расчетный диаметр 100 мм, расстояние между осями вращения параллельно установленных машин 460 мм.

Холостой ход машин имеет место при горизонтально расположенном нагруженном участке цепи. Увеличение угла нагрузки с противоположными знаками обеих машин до 30° (номинальная нагрузка) достигается смещением регулировочной звездочки на 80 мм. При этом настройка синхронных машин на режим холостого хода при смещенной вверх регулировочной звездочке существенно уменьшает требуемый интервал хода этой звездочки для доведения нагрузки до номинальной.

Затраты электроэнергии на испытание состоят из потерь энергии в обеих силовых машинах стенда и не содержат составляющих дополнительных потерь в регулирующих и пре-

образовательных устройствах, что является естественным минимумом этих затрат.

Разработанный испытательный стенд целесообразно применять для испытания новых машин и послеремонтного испытания, а также в учебных лабораториях при изучении электрических машин переменного тока.

Выводы

1. Регулированием высоты расположения регулирующей звездочки цепной передачи достигается изменение угла нагрузки обеих синхронных машин испытательного стенда и, как следствие, изменяется механическая и электрическая мощность машин при испытании. Связь между линейным перемещением звездочки и указанными мощностями устанавливается тарировкой испытательного стенда.

2. Испытательный стенд позволяет испытывать в режимах генератора и двигателя новые и отремонтированные синхронные машины. Кроме того, его можно использовать в учебных целях.

3. Затраты электроэнергии на испытание состоят из потерь энергии в обеих силовых машинах стенда и не содержат составляющих дополнительных потерь в регулирующих и преобразовательных устройствах, что является естественным минимумом этих затрат.

Список использованных источников

1. Strizhkov I.G., Chesnyuk E.N. Special synchronous motors for driving reclamation pumps IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022, 996(1).
2. Патент № 2271600 Российская Федерация, С1. МПК H02K 17/26. Синхронный двигатель : № 2004131098/09 : заявл. 25.10.2004 : опубл. 10.03.2006, бюл. № 7 / Стрижков И.Г., Чеснюк Е.Н. и др.; заявитель ФГБОУ ВО КубГАУ имени И.Т. Трубилина.
3. Патент № 2271601 Российская Федерация, С1. МПК H02K 17/26. Синхронный двигатель : № 2004131174/09 : заявл. 25.10.2004 : опубл. 10.03.2006, бюл. № 7 / Стрижков И.Г., Трубин А.Н. и др.; заявитель ФГБОУ ВО КубГАУ имени И.Т. Трубилина.
4. ГОСТ 11828-86. Машины электрические вращающиеся. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1986. 32 с. (Общие методы испытаний).
5. Жерве Г.К. Промышленные испытания электрических машин // Энергоатомиздат. Л. 1984. С. 408.
6. Патент № 2331081 Российская Федерация, С1. МПК H02K 15/00. Стенд для взаимной нагрузки синхронных машин : № 2007120540/09 : заявл. 01.06.2007 : опубл. 10.08.2008, бюл. № 22 / Стрижков И.Г., Трубин А.Н., Чеснюк Е.Н. и др.; заявитель ФГБОУ ВО КубГАУ имени И.Т. Трубилина.

Test Stand Equipment for Synchronous Machines

I.G. Strizhkov, E.N. Chesnyuk

(KubSAU named after I.T. Trubilin)

Summary. The equipment for testing synchronous machines is described. Extremely short closed circuit for transmitting mechanical and electrical power is used. To regulate the load angle of synchronous machines a chain drive is used to regulate the length of the loaded section of the chain. The short power circuit minimizes energy losses and the use of chain transmission simplifies load control.

Key words: synchronous machines, test bench, chain transmission.

УДК 519

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-7-15-17

Определение уровней цифровой зрелости

О.А. Моторин,

канд. полит. наук, доц.,
ol.motorin@gmail.com
(ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева»);

В.Н. Кузьмин,

д-р экон. наук, гл. науч. сотр.,
kwn2004@mail.ru
(ФГБНУ «Росинформагротех»);

М.Н. Степанцевич,

канд. экон. наук, доц.,
stepancevich@rgau-msha.ru

Е.В. Худякова,

д-р экон. наук, проф.,
evhudyakova@rgau-msha.ru
(ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева»)

Аннотация. При ранжировании уровней цифровой зрелости по итогам ее оценки предлагается использовать модель иерархии, основанную на экспертном методе и модели PDMM. С ее помощью в дальнейшем можно рассчитать траекторию цифровой трансформации по всему предприятию либо по отдельному элементу какого-либо из слоев архитектуры сельскохозяйственного предприятия. Иерархическая модель цифровой зрелости включает в себя три уровня и может служить основанием для дальнейшего расчета траектории цифровой трансформации по всему предприятию либо по отдельному элементу, а также подбора соответствующих классов цифровых решений, сервисов и продуктов.

Ключевые слова: цифровая зрелость, сельхозпредприятия, цифровой профиль, сельхозпроизводство, иерархия.

Постановка проблемы

Требования по цифровой зрелости сельхозпредприятий появились в 2020 г., однако пока не нашли широкого научного исследования в связи с длительными сроками реализации заложенных в них положений и, по сути, рекомендательным их характером. В частности, приказом Минцифры России от 18 ноября 2020 г. № 600 «Об утверждении методик расчета

целевых показателей национальной цели развития Российской Федерации «Цифровая трансформация» предусмотрены составы показателей по реализации целевого показателя «достижение «цифровой зрелости» сельского хозяйства.

Документ выступил своего рода основанием для рассмотрения и ввода в научный оборот относительно нового научного понятия – «Цифровой профиль сельхозтоваропроизводителя» [1]. Само понятие неоднократно применялось на мероприятиях по вопросам цифровизации сельского хозяйства, проводимых АНО «Цифровая экономика» совместно с региональными органами исполнительной власти.

В силу возникновения и легитимации новой научной категории, а также неизбежного создания цифровых профилей сельхозпредприятиями, их цифровой трансформации [2] имеется научный и практический смысл в исследованиях цифровой зрелости и цифровых профилей, особенностей их формирования и реализации в прикладной плоскости.

Цель исследования – сформулировать представления об уровнях цифровой зрелости сельхозпредприятий.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования является состояние цифровой зрелости сельхозпредприятия, задачами – формирование представления об ее уровнях и содержании, выявление связи между иерархией цифровой зрелости и классами цифровых решений.

Применялись сравнительный, отраслевой, иерархический, экспертный виды анализа. Информационной базой исследования послужили нормативные правовые акты Минцифры России, публикации ученых и специалистов по данной тематике.

Модель цифровой зрелости процессов (Process Digital Maturity Model, PDMM) [3] может быть применена к процессу управления производством сельскохозяйственной продукции для определения уровня цифровой зрелости и идентификации областей и дальнейшей цифровизации. Для этого необходимо ответить на следующий ряд вопросов, характеризующих состояние автоматизации и цифровизации ключевых процессов и факторов производства сельхозпредприятия [1].

1. Для оценки наличия цифровых инструментов и технологий не только для каждого из этапов производства сельскохозяйственной продукции, но и входящих в них шагов процесса, например, для животноводства. Имеются ли системы управления кормами, автоматические кормораздатчики, системы мониторинга состояния здоровья скота и т.д.?

2. Определение уровня автоматизации процессов. Какие шаги процессов полностью автоматизированы, а какие требуют ручного управления?

3. Оценка уровня интеграции данных и процессов. Хорошо ли различные этапы процесса интегрированы между собой, и насколько легко передаются данные между различными цифровыми сервисами и системами?

4. Фиксация уровня развития аналитики данных. Насколько широко используются данные, собранные на различных этапах процесса, для принятия производственных и управленческих решений, а также решений по оптимизации процесса?

На основе полученных результатов можно определить уровень цифровой зрелости процесса производства сельскохозяйственной продукции и идентифицировать области, которые требуют дальнейшей цифровизации. При этом следует обратить внимание, что оценка цифровой зрелости отчасти решает задачу определения

уровня научно-технологического развития сельхозпредприятия, поскольку цифровое измерение хозяйства является элементом его научно-технологической подсистемы [4].

Результаты исследований и обсуждение

По итогам сбора, анализа и интерпретации данных, а также с использованием общей методики оценки цифровой зрелости определяется уровень цифровой зрелости сельхозтоваропроизводителя. В сумме наблюдаемые цифровые профили по отдельным бизнес-процессам или иным элементам слоев архитектуры предприятия образуют индекс цифровой зрелости (табл. 1).

Таблица 1. Вариативный итог оценки цифровых профилей, % [1]

Цифровой профиль					Оценка итоговой цифровой зрелости
№1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	
20	10	30	5	1	13

Для ранжирования уровней цифровой зрелости по итогам ее оценки можно использовать модель иерархии, основанную на экспертном методе [5] и подходах PDMM. С ее помощью в дальнейшем можно рассчитать траекторию цифровой трансформации по всему предприятию либо отдельному элементу какого-либо из слоев архитектуры сельскохозяйственного предприятия (табл. 2).

Рассмотрим примеры характеристики цифровой зрелости в процессе управления производством сельскохозяйственной продукции. Целесообразно выделить следующие уровни цифровой зрелости, учитывающие требования поступательной и последовательной реализации алгоритма цифровизации предприятия [6]:

● первый – «Начальный». На данном уровне процесс управления осуществляется вручную (без использования цифровых технологий). Информация о состоянии полей и урожае собирается вручную и обрабатывается в электронном виде на базовом уровне.

Таблица 2. Сравнение уровней цифровой зрелости по модели PDMM и модели ФГБНУ «Росинформагротех» [1]

Уровень зрелости	Уровень зрелости по модели PDMM	Значение, %	Характеристика
Высокий	Аналитический	60-100	Имеется управление всем циклом или большинством выполняемых сельхозработ с помощью цифровых сервисов и устройств, решения принимаются с учетом данных из СППР
Средний	Оптимизированный, автоматизированный	40-59	Имеется автоматизация в виде программ 1С, используются отдельные устройства сбора и обработки данных, установленные на машинах и полях
Низкий	Начальный	0-39	Имеется начальная автоматизация в виде программ 1С или аналогов

не. В отдельных случаях имеет место быть автоматизация учетно-отчетной деятельности в виде цифровых продуктов 1С;

● второй – «Оптимизированный». На данном уровне насыщенность процесса управления сельскохозяйственным товаропроизводством цифровыми сервисами и устройствами увеличивается, а управление осуществляется с помощью цифровых технологий, таких как системы мониторинга и контроля состояния почвы и растений, GPS-навигация для управления машинами и оборудованием, анализ данных и прогнозирование продуктивности скота;

● третий – «Автоматизированный». На данном уровне процесс сельскохозяйственного товаропроизводства полностью автоматизирован. Данные о состоянии почвы и растений, уровне увлажнения, движении и результативности сельскохозяйственной техники собираются автоматически с помощью датчиков и иных киберфизических систем, передаются в систему управления сельхозпредприятия, которая может принимать решения по автоматическому управлению машинами и оборудованием либо уведомлять о несоответствии качества выполняемых агротехнологических операций или состоянии объекта мониторинга в диспетчерскую службу для принятия оперативных решений;

● четвертый – «Аналитический». На данном уровне процесс управления товаропроизводством полностью

ведется с использованием цифровых технологий и аналитики данных о состоянии объектов мониторинга (сельхозтехника, рабочая сила, почвенный слой, растения, запасы товарно-материальных ценностей). Данные собираются автоматически и анализируются с помощью алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта, что позволяет не только оптимизировать процессы управления и обеспечивать эффективность производства в текущем моменте, но и реализовывать функционал предсказательной аналитики.

Цифровая зрелость на аналитическом уровне характеризуется, прежде всего, тем, что принятие решений руководством сельскохозяйственного предприятия о выполнении агротехнологических операций и соблюдении агросроков в значительной мере основывается на результатах обработки данных, формируемых цифровыми сервисами поддержки принятия решений. Таким образом, высший уровень цифровой зрелости может очерчиваться через внедрение технологий искусственного интеллекта. Соответственно достижение высшего уровня цифровой зрелости в сельском хозяйстве в целом коррелирует на текущий момент с оценкой уровня применения в нем искусственного интеллекта [7].

Исходя из определенных уровней цифровой зрелости процесса товаропроизводства на сельхозпредприятии можно обозначить различные классы цифровых решений, сервисов и про-

дуктов, которые рекомендуются для каждого из обозначенных уровней. На начальном (низком) уровне используемые решения могут включать в себя:

- простые мобильные приложения для сбора и анализа данных (например, приложения для записи показаний погоды, состояния животных др.);
- сервисы для онлайн-консультаций с агрономами;
- электронные таблицы и базы данных для хранения и анализа сведений о культурах.

Уровень оптимизации (средний) характеризуется расширением портфеля решений и может включать в себя:

- системы автоматизации процессов (например, автоматического управления орошением или мониторинга состояния почвы);
- аналитические инструменты для принятия решений (например, инструменты анализа данных о погоде, состоянии почвы и т.д.);
- моделирование и прогнозирование на основе данных.

Высший уровень – аналитический (высокий) содержит полный спектр цифровых решений. Это уровень приближенной к завершению или завершённой цифровой трансформации, характеризуется переходом от автоматизации к применению данных в качестве нового источника создания добавленной стоимости в сельскохозяйственной продукции, он описывается через наличие в архитектуре сельскохозяйственного предприятия следующих цифровых решений:

- интернет вещей (IoT) для сбора данных в реальном времени о состоянии культур, животных и окружающей среды;
- облачные сервисы для хранения и обработки больших объемов данных;
- машинное обучение и искусственный интеллект для анализа данных и принятия решений.

Перечисленные решения, сервисы и продукты не исчерпывают всего спектра возможностей, которые могут быть применены в управлении производством сельскохозяйственной продукции. В то же время представленные подходы могут служить примером того, какие инструменты и технологии могут быть полезны

для определенного уровня цифровой зрелости и цифровой трансформации сельхозпредприятий.

Выводы

1. Оценка уровня цифровой зрелости и внедрение цифровых решений формируются на основе вопросов, характеризующих уровень автоматизации и цифровизации основных процессов и факторов производства сельхозпредприятия.

2. Иерархическая модель цифровой зрелости включает в себя три уровня и в дальнейшем может служить основанием для расчета траектории цифровой трансформации по всему предприятию либо по отдельному элементу, а также подбора соответствующих классов цифровых решений, сервисов и продуктов.

Список

использованных источников

1. Создание цифровых профилей сельскохозяйственных товаропроизводителей: науч. издание / О.А. Моторин, Н.П. Мишуров, В.И. Меденников [и др.]. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. 76 с. EDN НКНУДВ.
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 23.11.2023 № 3309-р «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации отраслей агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года» [Электронный ресурс].



URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202112310100> (дата обращения: 10.03.2024).

3. **Ochoa-Urrego R.L., Peca-Reyes J.I.** (2021). Digital Maturity Models: A Systematic Literature Review. In: Schallmo, D.R.A., Tidd, J. (eds) Digitalization. Management for Professionals. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-69380-0_5.

4. **Мишуров Н.П.** Цифровая трансформация научно-технического развития сельского хозяйства и его нормативное обеспечение / В.Н. Кузьмин, Н.П. Мишуров, О.А. Моторин, П.А. Подъяблонский, М.В. Скрынникова // Управление рисками в АПК. 2021. № 41. С. 54-64. DOI: 10.53988/24136573-2021-03-05.

5. **Новиков А.М., Новиков Д.А.** Методология. М.: Синтег, 2007. С. 312.

6. Опыт системного подхода к цифровой трансформации АПК и направления реорганизации / В.И. Меденников, И.М. Кузнецов, М.В. Макеев, О.А. Моторин // Управление рисками в АПК. 2020. № 2(36). С. 52-62. DOI 10.53988/24136573-2020-02-07. EDN ZESAMV.

7. **Мишуров Н.П.** Цели и задачи искусственного интеллекта в сельском хозяйстве / Н.П. Мишуров, Ю.И. Чавыкин, О.А. Моторин // Управление рисками в АПК. 2021. № 3(41). С. 39-49. DOI 10.53988/24136573-2021-03-04. EDN АНВВВВ.

Determining Digital Maturity Levels

O.A. Motorin

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

V.N. Kuzmin

(FGBNU "Rosinformagrotech")

M.N. Stepanyevich, E.V. Khudyakova

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

Summary. When assessing the levels of digital maturity it is proposed to use a hierarchy model based on the expert method and the PDMM model. Using this hierarchy model you can subsequently calculate the trajectory of digital transformation throughout the entire agricultural enterprise or for a separate element of any of the layers of the architecture of it. The hierarchical model of digital maturity includes three levels and can serve for the selection of appropriate classes of digital solutions, services and products as well.

Key words: digital maturity, agricultural enterprises, digital profile, agricultural production, hierarchy.

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 «АГУ им. В.Н. Татищева»);

А.В. Меликов,

канд. техн. наук, директор колледжа,

melikov@rgau-msha.ru

О.Г. Билич,

аспирант,

ogbilich@yandex.ru

(ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева»)

Специальные задачи, объем имеющихся данных и предварительные требования исследователя определяются выбором порядка полиномов. Поэтому универсальных правил выбора порядка многочлена не существует. Выбор порядка полинома должен основываться на экспериментах и анализе данных. Например, управление технологическим процессом, соответствующим первой производной, которое коррелирует с результирующим параметром машины (имеется в виду геометрический параметр транспортного средства) и его линейной скоростью, осуществляется с помощью полиномов второго порядка.

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

Известно, что простые многочлены можно использовать для расчета коэффициентов, определяющих начальную и конечную точки положения тела. Поэтому 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, представленного в этой статье.

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. Порядок построения оптимальной траектории с временным интервалом на основе заданного набора точек осуществлялся 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, является промежуточными точками, обеспечивающими последующую обработку кратчайшего пути к необходимой целевой позиции.

В современных беспилотных самоходных машинах необходимо использовать настраиваемые датчики, поэтому внимание акцентировано на свойствах электромагнитного

Аннотация. Представлены метод определения траектории движения беспилотной самоходной машины, основанный на использовании параметров траектории, начальной и конечной скорости для переоценки тангенциальной скорости и ее пространственной ориентации в реальном времени, а также метод построения оптимальной траектории с временным интервалом на основе заданного набора точек в соответствии с кинематическими ограничениями машины сельскохозяйственного назначения (кривые Безье). Показаны порядок действий по определению скорости движения 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].

датчика [6], для повышения чувствительности и точности которого его следует настроить на определенный резонансный режим. С помощью программы, созданной на языке программирования Delphi 10.4.2 Sydney (версия среды разработки от 24.02.2021), 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, которые находились в неподвижном положении [6-8] и обеспечивали повышение точности управления вращающимися механизмами.

Результаты исследований и обсуждение

Для перемещения беспилотной самоходной машины применяется контроллер траектории [6]. Он использует результаты анализа динамики ошибок для определения начальной скорости технического средства, что позволяет минимизировать его отклонение от заданной траектории. Следует отметить, что динамические ограничения технического средства уже должны быть включены в траекторию его движения.

Предполагается, что беспилотной самоходной машине сельскохозяйственного назначения необходимо перебрать 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 $T_j(t) = [x_{rj}(t), y_{rj}(t)]^T$, с $j \in [0, m]$, $m = n - 1$, общая функция прогнозирования траектории математически описывается как

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

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:

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

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

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 $\dot{a}(t)$, $\dot{\alpha}(t)$ соответственно. Таким образом, остается определить все производные кривой Безье. Кубические кривые Безье соответствуют форме

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

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

Полиномиальная функция описывается как

$$B(\lambda) = \begin{bmatrix} P_3 - 3P_2 + 3P_1 - P_0 \\ 3 \cdot (P_2 - 2P_1 + P_0) \\ 3 \cdot (P_1 - P_0) \\ P_0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \lambda^3 \\ \lambda^2 \\ \lambda \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

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 необходимо учитывать при выборе скорости движения машины, – определение фактора, ограничивающего скорость в силу появления погрешностей (искажений) пространственной ориентации технического средства. Этот фактор можно определить по формуле

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

причем $d\theta_{j,s} = \Theta_j - \angle r_j$, $d\theta_{j,e} = \angle r_j - \Theta_{j+1}$ и $\xi \in (0, 1)$.

И заключительным шагом является определение скорости движения машины $V_{j+1} = f_j v_{a,j} \angle \Theta_{j+1}$.

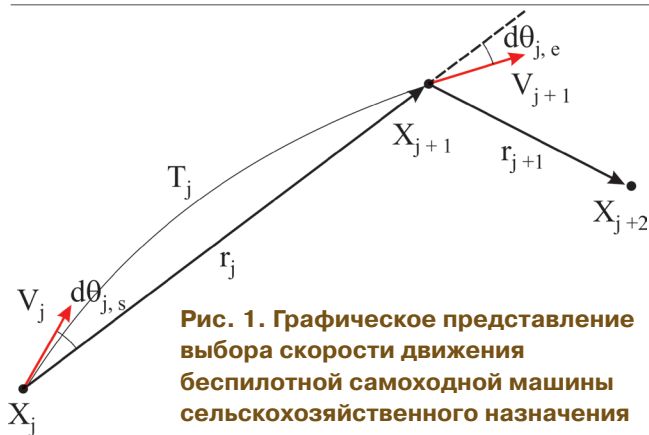


Рис. 1. Графическое представление выбора скорости движения беспилотной самоходной машины сельскохозяйственного назначения



Рис. 2. Физическая модель беспилотной самоходной машины сельскохозяйственного назначения

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 .

Минимальное значение, удовлетворяющее динамическим константам, можно определить, решив задачу оптимизации с использованием указанного выше значения в качестве начального условия. Для эксперимента была использована физическая модель беспилотной самоходной машины сельскохозяйственного назначения (рис. 2).

В 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 технического средства равен $T_s \approx 100 \text{ мс}$, активные ограничения –

$$v(t) \in [0, 0,35] \frac{m}{s}, \quad a(t) \in [-0,1, 0,1] \frac{m}{s^2},$$

$$\omega(t) \in [-30,30] \frac{deg}{s} \text{ and } \alpha(t) \in [-50,20] \frac{deg}{s^2}, \quad \xi = 0,6 \text{ и } g = 30.$$

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

Ошибка пространственной ориентации технического средства можно рассчитать по формуле

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

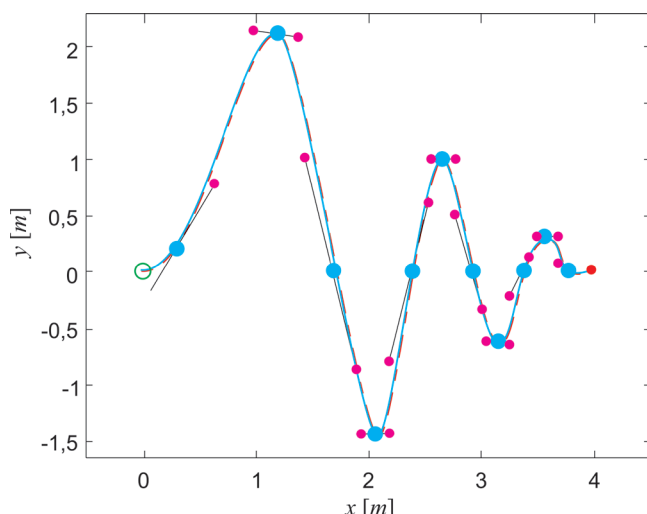


Рис. 3. Эталонная траектория движения беспилотной самоходной машины сельскохозяйственного назначения с отклонениями, полученными в результате эксперимента

Согласно уравнению (11), ошибка пространственной ориентации машины (в среднем) составила 2,12 см, максимальное отклонение – 5,34 см. Благодаря отслеживанию ошибок пространственной ориентации технического средства плавно придерживается заданной траектории.

При построении траектории движения беспилотной самоходной машины сельскохозяйственного назначения необходимо учитывать следующие ограничения, которые не должны превышать

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

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. Метод 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. 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 [Текст] / 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 [Текст] / 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 [Текст] / 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 [Текст]. Кембридж; Нью-Йорк: Кембриджский ун-т, 1991. 452 с.
5. Математическая энциклопедия [Текст] / М. Хазевинкель. Берлин: Шпрингер: наука и деловые медиа, 1997. Т. 1. С. 119.
6. Кланкар Г. Управление мобильным роботом по заданной траектории [Текст] / 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. Учебник для студентов [Текст]. // Глава «Полиномиальные выражения». 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 [Текст] : сб. матер. 26-й Средиземноморской конф. по управлению и автоматизации (XXVI MED). Афины, Греция, 2018. С. 1-9.

New Method for Determining the Trajectory of an Unmanned Self-Propelled Agricultural Machine

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. Bilic

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

Summary. The authors present a method for determining the trajectory of an unmanned self-propelled vehicle using the trajectory parameters, the initial and final speed to re-estimate the tangential speed and its spatial orientation in real time as well as the method of optimal trajectory constructing with the time interval based on a given set of points in accordance with the agricultural machine kinematic constraints (Bézier curves). The procedure for determining the speed of movement and the time-optimal trajectory, the results of the experiment on forming the trajectory of an unmanned self-propelled vehicle are shown.

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

Реферат

Цель исследования – упрощение процесса оптимизации траектории движения беспилотной самоходной машины сельскохозяйственного назначения путем вычисления только граничных значений ограничений, используя поиск корней и оценку полиномов. Представлены метод определения траектории движения беспилотной самоходной машины, основанный на использовании параметров траектории, начальной и конечной скорости для переоценки тангенциальной скорости и ее пространственной ориентации в реальном времени, а также метод построения оптимальной траектории с временным интервалом на основе заданного набора точек в соответствии с кинематическими ограничениями машины сельскохозяйственного назначения (кривые Безье). Показаны порядок действий по определению скорости движения и оптимальной по времени траектории, результаты эксперимента по формированию траектории движения беспилотной самоходной машины. 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. Предложенный метод определения траектории основан на упорядочивании набора точек желаемого направления движения технического средства, которые соединяются с помощью отрезков на основе сплайн-интерполяции (кривых Безье), может стать основным для построения пути беспилотной самоходной машины сельскохозяйственного назначения, так как не требует предварительного расчета траектории. Полиномы участвуют в оценке ограничений на основе нелинейной оптимизации для уменьшения длительности участков траектории движения беспилотной самоходной машины. Успешное отслеживание построенной траектории движения беспилотного самоходного технического средства подтверждено экспериментальными исследованиями. В опыте применялся энкодер для определения местоположения технического средства и его ориентации в пространстве. Ошибка пространственной ориентации машины (в среднем) составила 2,12 см, максимальное отклонение – 5,34 см. Благодаря отслеживанию ошибок пространственной ориентации техническое средство плавно придерживается заданной траектории.

Abstract

The purpose of the study is to simplify the process of optimizing the trajectory of an unmanned self-propelled agricultural machine by calculating only the boundary values of restrictions using root search and polynomial evaluation. The authors present a method for determining the trajectory of an unmanned self-propelled vehicle using the trajectory parameters, the initial and final speed to re-estimate the tangential speed and its spatial orientation in real time as well as the method of optimal trajectory constructing with the time interval based on a given set of points in accordance with the agricultural machine kinematic constraints (Bézier curves). The procedure for determining the speed of movement and the time-optimal trajectory, the results of the experiment on forming the trajectory of an unmanned self-propelled vehicle are shown. The study also identified the main factors causing vibration in electric motors. Re-examination of the spectral characteristics of vibration signals was carried out which was based on the artificial manifestation of the eccentricity of the engine rotor which causes increased vibration. The proposed method for determining the trajectory is based on ordering a set of points in the desired direction of movement of a technical device which are connected using segments using spline interpolation (Bézier curves), and this method can become the main one for constructing the path of an unmanned self-propelled agricultural machine because it does not require preliminary calculation of the trajectory. Polynomials are involved in assessing constraints based on nonlinear optimization to reduce the duration of sections of the trajectory of an unmanned self-propelled vehicle. Successful tracking of the constructed trajectory of an unmanned self-propelled technical vehicle has been confirmed by experimental studies. In the experiment an encoder was used to determine the location of the vehicle and its orientation in space. The spatial orientation error of the machine (on average) was 2.12 cm, the maximum deviation was 5.34 cm. Thanks to the spatial orientation errors tracking the vehicle smoothly adheres to the given trajectory.



РОССИЙСКИЙ ФОРУМ ПОЛЕВОДОВ 2024 АГРОТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ 5-6 СЕНТЯБРЯ 2024 г. / ПЯТИГОРСК



Российский форум полеводо́в — отраслевое мероприятие, посвященное актуальным вопросам выращивания, уборки и реализации пшеницы, подсолнечника, кукурузы, ржи, ячменя, овса, риса, просо, сорго и других культур.

ОСНОВНЫЕ ТЕМЫ:

- Семена: обработка, подготовка к посеву
- Инновации в защите и питании подсолнечника, кукурузы, пшеницы
- Цифровизация сельского хозяйства
- Обработка почвы: вспашка, культивация, внесение удобрений
- Потенциал и качество семенного материала
- Прибыльная защита полевых культур
- Уборка урожая: механизация, агромониторинг с применением цифровых технологий

АУДИТОРИЯ ФОРУМА

Руководство агрохолдингов и сельхозпредприятий, выращивающих пшеницу, подсолнечник, кукурузу, рожь, ячмень, овес, рис, просо, сорго и другие культуры, главы крестьянских фермерских хозяйств, семенные компании, производители агрохимии и средств защиты растений, компании, поставляющие оборудование и спецтехнику, представители органов власти, национальных союзов, ассоциаций.

По вопросам выступления и спонсорства:
+7 (988) 248-47-17

По вопросам делегатского участия:
+7 (909) 450-36-10
+7 (960) 476-53-39

e-mail: events@agbz.ru

Регистрация на сайте:
fieldagriforum.ru



Решение ИТ-Правительства 8.8, ИНН 23120638902, ОГРН/ИП 3122122000019

УДК 631.3-048.35

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-7-23-25

Анализ динамики обновления парка сельскохозяйственной техники

П.И. Бурак,
д-р техн. наук,
зам. директора Департаментов водства,
p.burak@mcx.ru
(Минсельхоз России);

И.Г. Голубев,
д-р техн. наук,
проф., гл. науч. сотр.,
golubev@rosinformagrotech.ru
(ФГБНУ «Росинформагротех»)

Аннотация. Приведены сведения о количестве машин, зарегистрированных органами Ростехнадзора в 2022 и 2023 гг. Установлена доля техники, с года выпуска которой прошло более десяти лет. Показана динамика приобретения сельскохозяйственными товаропроизводителями тракторов, зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов, коэффициенты обновления парка машин, а также энергообеспеченности сельскохозяйственных организаций.

Ключевые слова: АПК, техническая модернизация, сельскохозяйственная техника, трактор, комбайн, коэффициент обновления, динамика, энергообеспеченность.

Постановка проблемы

В 2023 г. в рамках федерального проекта «Развитие отраслей и техническая модернизация агропромышленного комплекса» было поставлено 7831 ед. новой сельскохозяйственной техники, машин и оборудования, приобретенной с использованием субсидий из федерального бюджета АО «Росагролизинг», в том числе 1249 тракторов, 1185 комбайнов, 4231 ед. других видов техники. Обновлению отечественной сельскохозяйственной техники способствуют различные меры государственной и региональной поддержки [1, 2].

В соответствии с постановлением Правительства России от 27 декабря 2012 г. № 1432 «Об утверждении Правил предоставления субсидий производителям сельскохозяйствен-

ной техники» с 2022 г. производители сельскохозяйственной техники для участия в квалификационном отборе на получение субсидии в отношении продукции, предусмотренной перечнем критериев определения функциональных характеристик (потребительских свойств) и эффективности сельскохозяйственной техники и оборудования (постановление Правительства России от 1 августа 2016 г. № 740 «Об определении функциональных характеристик (потребительских свойств) и эффективности сельскохозяйственной техники и оборудования» (далее – постановление №740) предоставляет в Минпромторг России копии решения о соответствии продукции установленным в указанном перечне критериям по каждой модели [3].

Для реализации постановления № 740 были сформированы Планы проведения работ по определению функциональных характеристик (потребительских свойств) и эффективности сельскохозяйственной техники и оборудования. По итогам проведенных испытаний в 2021-2023 гг. определено, что 601 ед. сельскохозяйственной техники и оборудования соответствует требованиям постановления № 740 (72%), 181 ед. – соответствует постановлению № 740, но не соответствует ранее заявленным характеристикам (22%), 48 ед. – не соответствуют постановлению № 740 (6%) [4-6].

Цель исследования – анализ динамики показателей обновления основными видами техники сельскохозяйственных товаропроизводителей.

Материалы и методы исследования

В качестве исходных данных для анализа использовались сведения, полученные органами государственного надзора за техническим состо-

янием самоходных машин и других видов техники (гостехнадзор), данные ведомственной отчетности Минсельхоза России и органов управления АПК субъектов Российской Федерации и национальных докладов «О ходе и результатах реализации Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия» [7-10].

Оценку динамики обновления парка сельскохозяйственной техники характеризовали число машин, зарегистрированных органами Ростехнадзора, и приобретенных по всем каналам реализации, доля техники, с года выпуска которой прошло более 10 лет, энергообеспеченность сельскохозяйственных организаций (СХО), л.с./100 га посевных площадей. Оценка производилась путем сравнения показателей за 2023 и 2022 г.

Результаты исследования и обсуждение

По состоянию на 1 января 2024 г., органами Ростехнадзора зарегистрировано 383,3 тыс. тракторов, 133,4 тыс. зерноуборочных и 12,3 тыс. кормоуборочных комбайнов (табл. 1).

Динамика зарегистрированных в органах Ростехнадзора основных

Таблица 1. Самоходные машины в АПК, зарегистрированные в органах Ростехнадзора, ед.

Вид техники	2022 г.	2023 г.
Всего	575 679	579 275
В том числе:		
тракторы	384 428	383 293
зерноуборочные комбайны	133 378	133 384
кормоуборочные комбайны	13 166	12 699
прочие комбайны	12 329	13 569

видов самоходных машин в АПК за период с 2018-2023 гг. приведена на рис. 1.

Доля техники, с года выпуска которой прошло более 10 лет, по данным органов управления АПК субъектов Российской Федерации, снизилась по тракторам до 56,02%, зерноуборочным комбайнам – до 45,62%, что связано со списанием и выбытием техники, доля кормоуборочных комбайнов увеличилась до 44,73% (табл. 2).

Таблица 2. Основные виды техники, с года выпуска которой прошло более десяти лет, %

Вид техники	2022 г.	2023 г.
Тракторы	56,30	56,02
Зерноуборочные комбайны	45,95	45,62
Кормоуборочные комбайны	42,93	44,73

Динамика изменения количества основных видов сельскохозяйственной техники, с года выпуска которой прошло более десяти лет, за 2018-2023 гг. в Российской Федерации показана на рис. 2.

По данным субъектов Российской Федерации, в 2023 г. сельскохозяйственными товаропроизводителями по всем каналам реализации было приобретено 13980 тракторов, 4735 зерноуборочных и 574 кормоуборочных комбайнов (табл. 3).

Снижение темпов приобретения зерно- и кормоуборочных комбайнов связано с уходом основных брендов производителей сельскохозяйственного машиностроения с территории Российской Федерации (John Deere, New Holland и др.), нарушением логистических цепочек поставок сельскохозяйственных машин, оборудования и запасных частей к ним в связи с наложенными ограничениями недружественных стран в отношении Российской Федерации, ростом цен на отечественную технику из-за повышения цен на металл и основные виды комплектующих (гидравлика, электроника, пластмасса, резинотехнические изделия). Кроме того, по отдельным видам сельскохозяйственных машин и оборудования

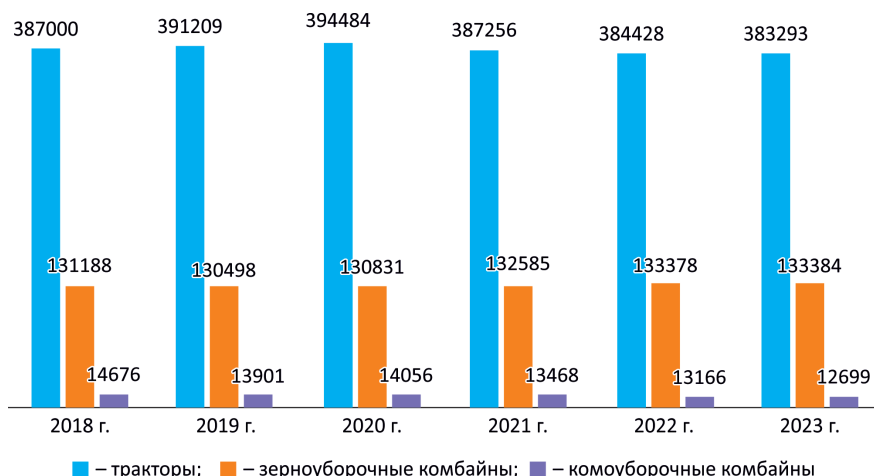


Рис. 1. Динамика самоходных машин для АПК, зарегистрированных в органах гостехнадзора, ед.

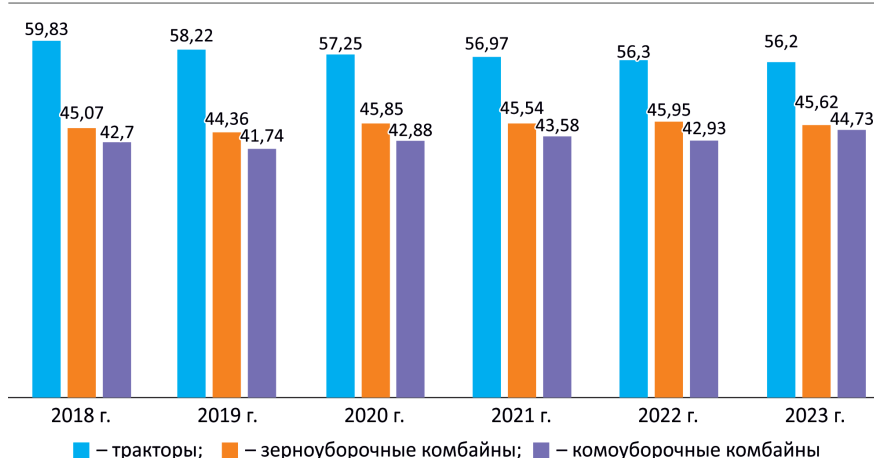


Рис. 2. Динамика основных видов сельскохозяйственной техники в Российской Федерации, с года выпуска которых прошло более десяти лет, %

Таблица 3. Динамика приобретения основных видов сельскохозяйственной техники, ед.

Вид техники	2022 г.	2023 г.	2023 г. к 2022 г., %
Тракторы	12 991	13 980	7,6
Зерноуборочные комбайны	5 385	4 735	-12,1
Кормоуборочные комбайны	597	574	-3,9
Прочая техника	38 635	40 896	5,9

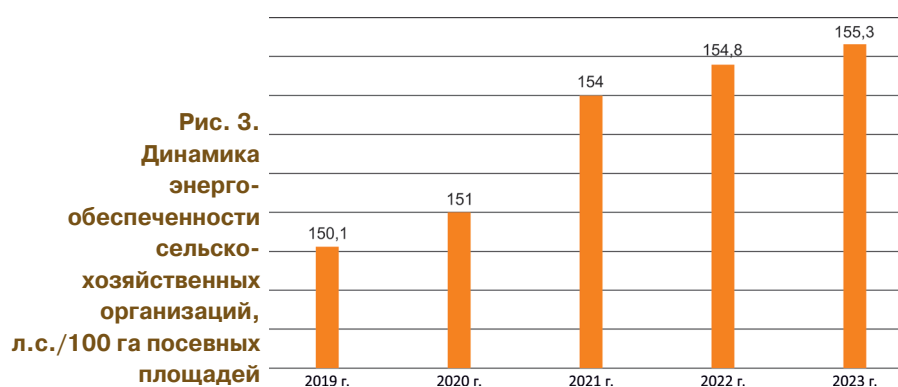
Источник: данные ведомственной отчетности Минсельхоза России и органов управления АПК субъектов Российской Федерации.

существует большая импортозависимость (свеклоуборочные комбайны, свеклопогрузчики).

Вместе с тем в 2023 г. Минсельхозом России совместно с Минпромторгом России успешно реализован план поставок тракторов российского и белорусского производства в субъекты Российской Федерации, что сказалось на увеличении темпов их

приобретения. Коэффициент обновления в сельхозорганизациях по тракторам составил 3,2%, зерноуборочным комбайнам – 3,5, кормоуборочным – 3%.

Энергообеспеченность сельхозорганизаций в 2023 г. составила 155,3 л.с. на 100 га посевных площадей, что выше уровня 2022 г. (154,8 л.с.) – рис. 3.



Выводы

1. По состоянию на 1 января 2024 г. органами гостехнадзора зарегистрировано 383,3 тыс. тракторов (на 1,1 тыс. меньше по сравнению с данными на 1 января 2023 г.), 133,4 тыс. зерноуборочных (на 6 ед. больше), 12,3 тыс. кормоуборочных комбайнов (на 467 ед. меньше).

2. Доля техники, с года выпуска которой прошло более десяти лет, по данным органов управления АПК субъектов Российской Федерации, по тракторам снизилась до 56,02% (в 2022 г. – 56,30%), зерноуборочным комбайнам – до 45,62% (в 2022 г. – 45,95%), кормоуборочным комбайнам увеличилась до 44,73% (в 2022 г. – 42,93%).

3. В 2023 г. сельскохозяйственными товаропроизводителями по всем каналам реализации было приобретено 19289 тракторов и комбайнов, что на 1,7% больше по сравнению с 2022 г., в том числе 13980 тракторов (на 7,6% выше уровня 2022 г.), 4735 зерноуборочных (на 12,1% меньше уровня 2022 г.) и 574 кормоуборочных (на 3,9% меньше уровня 2022 г.) комбайнов.

4. Снижение темпов приобретения зерно- и кормоуборочных комбайнов связано, прежде всего, с санкционным давлением, уходом основных брендов импортных производителей сельхозтехники, нарушением логики поставок машин, оборудования и запасных частей к ним, ростом цен на отечественную технику и др.

Список

использованных источников

1. **Бурак П.И., Голубев И.Г.** Обновление парка сельскохозяйственной техники в рам-

ках ведомственного проекта «Техническая модернизация агропромышленного комплекса» // Техника и оборудование для села. 2023. № 7. С. 2-7.

2. **Бурак П.И., Голубев И.Г., Мишуров Н.П., Федоренко В.Ф., Левшин А.Г.** Анализ функциональных характеристик (потребительских свойств) и эффективности испытанной сельскохозяйственной техники и оборудования: аналит. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 128 с.

3. Определение функциональных характеристик (потребительских свойств) и эффективности сельскохозяйственной техники и оборудования [Электронный ресурс]. URL: <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-rasteniyevodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity-rasteniy/industry-information/info-opredelenie-funktionalnykh-kharakteristik-potrebitelskikh-svoystv-i-effektivnosti-selskokhozyay> (дата обращения: 12.05.2024).

4. Реестр решений, принятых Комиссией по определению функциональных характеристик (потребительских свойств) и эффективности сельскохозяйственной техники и оборудования [Электронный ресурс]. URL: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/7d9/00z1qmb2rh0zklhc5jsakc2f5ldu49s4.pdf> (дата обращения: 13.06.2024).

5. Решения, принятые согласно подпункту «а» пункта 24 Положения, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 1 августа 2016 г. № 740 [Электронный ресурс]. URL: <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-rasteniyevodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity-rasteniy/industry-information/info-resheniya-prinyatie-soglasno-podpunktu-a-punkta-24-polozheniya-utverzhdenного-postanovleniem-pravite/> (дата обращения: 13.06.2024).

6. Решения, принятые согласно подпункту «б» пункта 24 Положения, утвержденного Постановлением Правительства Россий-

ской Федерации от 1 августа 2016 г. № 740 [Электронный ресурс]. URL: <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-rasteniyevodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity-rasteniy/industry-information/info-resheniya-prinyatie-soglasno-podpunktu-b-punkta-24-polozheniya-utverzhdenного-postanovleniem-pravite/> (дата обращения: 13.06.2024).

7. Национальный доклад «О ходе и результатах реализации в 2019 году Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия». М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 162 с.

8. Национальный доклад «О ходе и результатах реализации в 2020 году Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия». М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. 172 с.

9. Национальный доклад «О ходе и результатах реализации в 2021 году Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия». М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 149 с.

10. Национальный доклад «О ходе и результатах реализации в 2022 году Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия». М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. 108 с.

Analysis of the Dynamics of Renewal of the Agricultural Machinery Fleet

P.I. Burak

(Ministry of Agriculture of Russia)

I.G. Golubev

(FGBNU "Rosinformagrotech")

Summary. Information is provided on the number of vehicles registered by the state technical supervision authorities in 2022 and 2023. The percentage of equipment that has been manufactured for more than 10 years ago has been determined. The dynamics of purchasing of tractors, grain harvesters and forage harvesters by agricultural producers, the coefficients of fleet renewal, as well as the energy supply of agricultural organizations are shown.

Key words: agro-industrial complex, technical modernization, agricultural machinery, tractor, combine, renewal coefficient, dynamics, energy supply.

УДК 635.21:631.589.2

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-7-26-30

Технология выращивания пищевого картофеля в условиях Крайнего Севера с использованием искусственного освещения в закрытых помещениях

В.И. Старовойтов,*д-р техн. наук, проф.,
гл. науч. сотр., зав. отделом,
agronir1@mail.ru***О.А. Старовойтова,***д-р с.-х. наук, гл. науч. сотр.,
agronir2@mail.ru***О.С. Хутинаев,***канд. с.-х. наук, вед. науч. сотр.,
okosk@mail.ru
(ФГБНУ «ФИЦ картофеля
имени А.Г. Лорха»);***Т.А. Щеголихина,***науч. сотр.,
schegolikhina@rosinformagrotech.ru
(ФГБНУ «Росинформагротех»);***А.А. Манохина,***д-р с.-х. наук, доц.,
проф. кафедры,
a.manoikhina@rgau-msha.ru
(ФГБОУ ВО «РГАУ – МСХА
имени К.А. Тимирязева»)*

Аннотация. Рассмотрена технология выращивания пищевого картофеля класса «Бэби» с помощью аэрогидрофотоники с использованием искусственного освещения в закрытых помещениях. Комбинированный способ освещения светодиодными и газоразрядными лампами, обеспечивающими широкий диапазон наиболее значимых световых волн в спектре ФАР, оказался в 2 раза эффективнее при выращивании мини-клубней картофеля по сравнению с освещением только биколорными светодиодными лампами в красно-синем спектре.

Ключевые слова: картофель, аэрогидрофотоника, искусственное освещение, клубни.

Постановка проблемы

Вопросы обеспечения населения новыми отечественными сортами картофеля с высокими потребительскими качествами являются важнейшей задачей для повышения конкурентоспособности отрасли. К 2030 г. необходимо производить не менее 50% собственного семенного материала данной культуры (в 2022 г. – 10%).

Кроме того, для Российской Федерации особую значимость имеет освоение Крайнего Севера и Арктики. Актуальная задача в этих суровых условиях – обеспечение населения полноценным питанием. Установлено, что наибольший дефицит в условиях Севера отмечается в отношении картофеля – 48% от рекомендуемых размеров потребления, других овощей и бахчевых – 33, фруктов и ягод – 21%. В отношении яиц, молока и молочных продуктов недостаток составляет 13–14%, хлебопродуктов – 17%. Также обращает на себя внимание высокая углеводная нагрузка на организм жителей Арктической зоны, где уровень потребления сахара превышает норму на 44%. «Северный завоз» является дорогостоящим мероприятием. Выращивание на месте овощей и картофеля позволит получить более доступную по цене продукцию.

Анализ научных разработок в мире показывает [1, 2], что одним из перспективных направлений увеличения коэффициента размножения клубней является использование методов аэро- и гидропоники, а также аэрогидрофотоники для тиражирования картофеля [3, 4]. В России ведутся исследования по оптимизации этой технологии на картофеле и других культурах [5, 6].

Цель исследований – разработка схемы выращивания картофеля в условиях аэрогидрофотоники с использованием искусственного освещения в закрытых помещениях с производством пищевого картофеля и собственного семенного фонда.

Материалы и методы исследования

Для изучения параметров освещения и сортовых особенностей кар-

тофеля использован разработанный в ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха» модуль АГМ. Исследования проводились на сортах разных групп спелости: ранние – Гулливер, Жуковский ранний, среднеранние – Сюрприз, Экстра и среднеспелые – Варяг, Кумач, Пламя [7, 8].

Выбор освещения и сорта картофеля является важным фактором при выращивании в аэропонной системе. Правильный выбор качественного искусственного света позволит управлять развитием растений, ускорить либо замедлить его рост, цветение, клубнеобразование. Чаще всего источниками излучения в светокультуре растений служат электрические светодиодные лампы с излучением в узком диапазоне спектра, а также высокоомощные газоразрядные (Днат) и металлогалогеновые (МГЛ) лампы высокого давления мощностью от 150, 250, 400, 600 и 1000 Вт [8, 9].

Исследования проводили при двух вариантах освещения. В первом опыте использовали биколорные светодиодные светильники с излучением в красно-синем диапазоне спектра, во втором – комбинированное мульти-спектральное освещение с помощью газоразрядных ламп ДНАТ и биколорных светодиодных светильников, обеспечивающих подачу наиболее значимых для фотосинтеза световых волн в широком диапазоне спектра фотосинтетически активной радиации (ФАР). Выращивание производили на биотехнологических модулях АГМ-60 в условиях аэрогидропоники.

Результаты исследований и обсуждение

В первом опыте при использовании биколорных светильников высо-

та растений у исследуемых сортов картофеля в отдельных случаях доходила до 170 см, что происходило из-за чрезмерного вытягивания междоузлий в результате недостаточно эффективного освещения. Так, у сортов Варяг и Сюрприз высота растений составляла около 170 см, Гулливер и Жуковский ранний – 117-162, Экстра – 117-140, Пламя – 40-125, Кумач – около 125 см. Клубнеобразование наступало на 60 день вегетации.

Во втором опыте комбинированное освещение с помощью светодиодных и газоразрядных ламп обеспечило оптимальный уровень освещенности с достаточным количеством физиологически активной световой энергии (мультиспектральные светильники). Исследуемые растения картофеля не ощущали дефицита света и не вытягивались так, как при биколорном освещении. Высота растений не превышала 65 см, по сортам Варяг и Сюрприз – около 35, Гулливер и Жуковский ранний – 50-62, Экстра – 50-62, Пламя – 40-45, Кумач – около 30 см. Клубнеобразование наступало на 15 дней раньше – на 45 день после посадки.

В ходе исследований было выявлено, что комбинированный способ освещения с помощью светодиодных и газоразрядных ламп, обеспечивающих широкий диапазон наиболее значимых световых волн в спектре ФАР, оказался в 2 раза эффективнее при выращивании мини-клубней картофеля по сравнению с освещением только биколорными светодиодными лампами в красно-синем спектре (рис. 1).

Анализ рис. 1 показывает, что клубни сорта Жуковский ранний, выращенные на модуле АГМ-60 (рис. 2), соответствуют классу +20 «Бэби».

Исследования показали, что можно выращивать 93% по количеству и более 98% по массе клубней класса «Бэби» от общего урожая. Себестоимость составляет 144,5 руб./кг.

Для выращивания пищевого картофеля в условиях изоляции от внешней среды с использованием искусственного климата потребуется организовать цепочку ежегодного возобновления собственного семенного фонда, чтобы обеспечить круглогодичное выращивание свежего картофеля для

потребления. Схема производства делится на три сезона выращивания в году (по 4 месяца). Выращивание картофеля в пищевых целях и возобновление семенного фонда производятся одновременно в каждом сезоне.

Методика проведения работ включает в себя несколько этапов. Начальный этап производства – выращивание исходных пробирочных растений на аэрогидропонных устройствах, с которых получают посадочный материал для возобновления фонда семян и выращивания клубней для потребления. В последующие годы посадочный материал будет формироваться из части урожая, отбираемого для выращивания семян к следующему сезону. В начале каждого сезона, за месяц до посадки, весь посадочный материал картофеля выгружается из холодильной камеры для прогревания и проращивания. Проращивание проводится с целью получения большого количества ростков, которые в дальнейшем будут вычлнять от маточных клубней и высаживать в аэрогидропонные установки.

Семена проращивают до появления зеленых проростков (пока они не до-

стигнут 10-15 см) с настоящими листьями и хорошо развитой корневой системой. Затем сформированные ростки вычлняют из маточных клубней и высаживают. Такой метод позволяет при малом количестве клубней получить большое количество хороших ростков. Способ выращивания ростками предпочтительнее, чем клубнями. При высаживании клубней может наблюдаться их гниение, продукты которого могут загрязнять твердый субстрат в гидропонных системах, поэтому использование ростков и аэрогидропонных устройств наиболее предпочтительный вариант для производства. Тем более что на таких установках ростки развиваются с довольно высокой скоростью и основное питание получают не с материнского клубня, как в почве, а с хорошо сформировавшейся корневой системы, которая все время находится в оптимальных для развития условиях.

Выращивание производится в круглогодичном режиме. Год делится на три сезона выращивания, каждый из которых длится на четыре месяца. Часть урожая, полученного в текущем сезоне, отбирается для возобновления

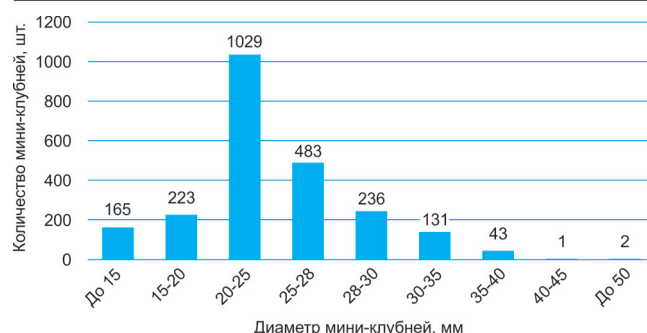


Рис. 1. Дисперсия поперечного размера клубней сорта Жуковский ранний, выращенных в аэрогидропонной установке



Рис. 2. Модуль АГМ-60 [10]



Процесс активного клубнеобразования
Начало первого сбора мини-клубней

семенного фонда и закладывается на хранение в холодильные камеры. Период хранения – семь месяцев и еще один месяц – для подготовки семян к посадке в соответствующем сезоне следующего года. Например, семена, убранные в первом сезоне текущего года, высаживаются в первом сезоне следующего года и т.д. Оставшаяся часть урожая идет на потребление в пищу и будет потребляться в течение последующих четырех месяцев, пока не поступит новая партия свежего картофеля. Урожай от следующего сезона также делится на две части – возобновление семенного фонда и в пищу.

Схема производства предполагает, что семена высаживаются через каждые два сезона выращивания или через восемь месяцев хранения, а картофель на пищевые цели используется сразу после выращивания в течение четырех месяцев. Со второго года схема выращивания по всем годам одинаковая.

Первый год отличается только тем, что для запуска программы производства исходный посадочный материал завозится извне. В остальные годы используется собственный семенной материал (табл. 1).

В графическом представлении план мероприятий выглядит следующим образом (рис. 3).

В табл. 2-4 представлен технико-экономический расчет выращивания продовольственного картофеля «Беби».

Таблица 1. План мероприятий на первый сезон, первый год и десять лет

Этап	Мероприятия	Сроки прохождения
Первый год		
Первый сезон	Продолжительность сезона выращивания – четыре месяца	Январь-апрель
Подготовка посадочного материала	Завоз исходных пробирочных растений (исходный материал для посадок завозится один раз в десять лет)	До начала сезона выращивания (первая декада января)
Выращивание растений	Получение продукции. Продолжительность вегетации – четыре месяца	Январь-апрель
Создание семенного фонда	Частичный сбор мини-клубней с закладкой на хранение. Использование семян через восемь месяцев в первом сезоне следующего года	Май-декабрь
Получение картофеля в пищу	Полный сбор урожая и потребление в пищу в течение четырех месяцев	Май-август
Второй сезон	Продолжительность сезона выращивания – четыре месяца	Май-август
Подготовка посадочного материала	Завоз исходных пробирочных растений (исходный материал для посадок завозится один раз в десять лет)	Начало сезона выращивания (первая декада мая)
Выращивание растений	Получение продукции. Продолжительность вегетации – четыре месяца	Май-август
Создание семенного фонда	Частичный сбор мини-клубней с закладкой на хранение. Использование через восемь месяцев	Август-апрель
Получение картофеля в пищу	Полный сбор урожая и потребление в пищу в течение четырех месяцев	Август-декабрь
Третий сезон	Продолжительность сезона выращивания – четыре месяца	Август-декабрь
Подготовка посадочного материала	Завоз исходных пробирочных растений (исходный материал для посадок завозится один раз в десять лет)	До начала сезона выращивания (первая декада августа)
Выращивание растений	Получение продукции. Продолжительность вегетации – четыре месяца	Август-декабрь
Создание семенного фонда	Частичный сбор мини-клубней с закладкой на хранение. Использование через восемь месяцев	Декабрь-август
Получение картофеля в пищу	Полный сбор урожая и потребление в пищу в течение четырех месяцев	Декабрь-апрель
Второй год (и все последующие годы в течение десяти лет)		
Первый сезон	Продолжительность выращивания – четыре месяца	Январь-апрель
Подготовка посадочного материала	Выгрузка семян из хранилища за месяц до посадки, прогревание, проращивание ростков до 10 см и более	Декабрь
Выращивание растений	Вычленение ростков, посадка на установки. Продолжительность вегетации – четыре месяца	Январь-апрель
Создание семенного фонда	Частичный сбор мини-клубней с закладкой на хранение. Использование через восемь месяцев	Май-декабрь
Получение картофеля в пищу	Полный сбор урожая и потребление в пищу в течение четырех месяцев	Май-август
Второй сезон	Продолжительность выращивания – четыре месяца	Май-август
Подготовка посадочного материала	Выгрузка семян из хранилища за месяц до посадки, прогревание, проращивание ростков до 10 см и более	До начала сезона выращивания (первая декада мая)
Выращивание растений	Вычленение ростков, посадка на установки. Продолжительность вегетации – четыре месяца	Май-август
Создание семенного фонда	Частичный сбор мини-клубней с закладкой на хранение. Использование через восемь месяцев	Август-апрель
Получение картофеля в пищу	Полный сбор урожая и потребление в пищу в течение четырех месяцев	Август-декабрь
Третий сезон	Продолжительность выращивания – четыре месяца	Август-декабрь
Подготовка посадочного материала	Выгрузка семян из хранилища за месяц до посадки, прогревание, проращивание ростков до 10 см и более	До начала сезона выращивания (первая декада августа)
Выращивание растений	Вычленение ростков, посадка на установки. Продолжительность вегетации – четыре месяца	Август-декабрь
Создание семенного фонда	Частичный сбор мини-клубней с закладкой на хранение. Использование через восемь месяцев	Декабрь-август
Получение картофеля в пищу	Полный сбор урожая и потребление в пищу в течение четырех месяцев	Декабрь-апрель

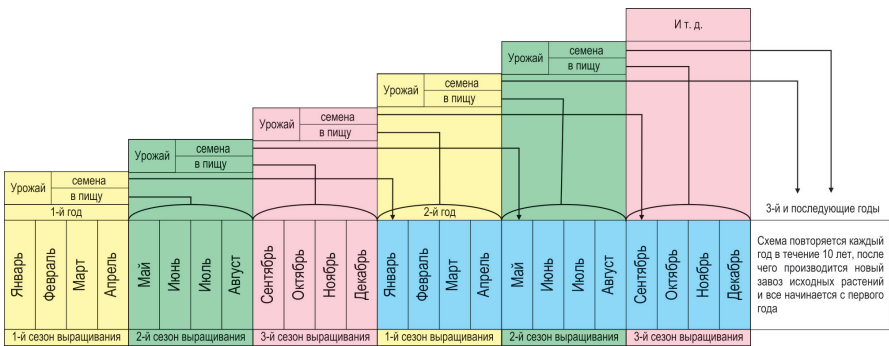


Рис. 3. Технология автономного воспроизводства пищевого картофеля с возобновлением семенных ресурсов в условиях искусственного климата

Таблица 2. Исходные данные

Численность людей, потребляющих продовольственный картофель	20
Годовая потребность в картофеле, кг:	
одного взрослого человека	100
всего персонала	2000
Годовая потребность в семенном картофеле, шт.	4000

Таблица 3. Техничко-экономический расчет выращивания продовольственного картофеля «Беби»

Показатели	Значение
Запланированная урожайность продовольственного картофеля с одного куста, в среднем, кг	0,5
Число растений:	
для получения 2000 кг картофеля	4000
на 1 м ² (схема 35×35 см)	8
Площадь, м ² :	
под высадку 4000 растений	500
при использовании двухуровневых устройств с искусственным освещением (боковое с двух сторон)	250
Расход основных средств на выращивание продовольственного картофеля (площадь 500 м²)	
Расход мощности, кВт:	
на освещение:	
1 м ²	0,10
за сутки при световом дне 16 ч на 1 м ² / 250 м ²	1,6 / 400
на проветривание за сутки на 250 м ² (5 вентиляторов по 300 Вт, проветривание по 30 мин через каждые 15 мин – 18 ч в сутки)	27
Продолжительность выращивания с освещением за один сезон выращивания, дни	90
Суммарное энергопотребление, кВт:	
на освещение (250 м ² , за 90 дней)	36000
на проветривание (500 м ² , за 120 дней)	3240
Расход:	
воды (5 л на растение, 4000 растений), м ³	20
минеральных удобрений (5 г на одно растение, 4000 растений), кг	20
химических средств защиты (комплекс препаратов), кг	1
Численность персонала, требуемого на выполнение работ	2
Стоимость расходных материалов и затрат на продовольственный картофель. Выращивание 2000 кг картофеля из 4000 растений (цены 2024 г.)	
Затраты, руб.:	
электроэнергия на освещение / вентилирование (стоимость – 3,45 руб/кВт·ч)	124200 / 11178
вода (стоимость – 53 руб/м ³)	1060
минеральные удобрения (стоимость комплекса удобрений – 1000 руб/кг)	20000
средства защиты (стоимость комплекса препаратов – 5000 руб/кг)	2500
Стоимость 4000 шт. исходных растений из расчета 7,50 руб. за одно растение (в стоимости семян указаны затраты на собственное производство без амортизационных отчислений), руб.	30000
Зарплата сотрудников (50 тыс. руб. на одного человека за неполный рабочий день), руб.	100000
Итого затрат, руб.	298938
Себестоимость 1 кг продовольственного картофеля, руб.	144,50

Таблица 4. Техничко-экономический расчет выращивания семян для возобновления семенного фонда

Показатели	Значение
Запланированная урожайность семян с одного куста, в среднем, шт.	16
Число растений:	250
для получения 4000 растений	
выращиваемых на 1 м ² (схема 20×20 см)	25
Площадь, м ² :	
необходимая под высадку 250 растений	10
при использовании двухуровневых устройств с искусственным освещением	5
Расход основных средств на выращивание семенного картофеля (площадь 10 м²)	
Расход электроэнергии, кВт·ч:	
на освещение:	
1 м ²	0,1
за сутки при световом дне 16 ч на 1 м ² / на 10 м ²	1,6 / 10,6
на проветривание за сутки на 10 м ² (вентилятор, 300 Вт)	4,8
Продолжительность выращивания в одном техническом обороте, дни	120
Суммарное энергопотребление на освещение / проветривание 10 м ² за 120 дней	1272 / 576
Расход:	
воды из расчета 5 л на растение (на 250 растений), м ³	1,25
минеральных удобрений из расчета 5 г на растение (4000 растений), кг	20
химических средств защиты, кг	0,1
Необходимая численность персонала для выполнения работ	0,5
Стоимость расходных материалов и затрат на семенной картофель. Выращивание 4000 мини-клубней из 250 растений (цены 2024 г.)	
Число растений для возобновления семенного фонда	4000
Стоимость 4000 шт. исходных растений из расчета 50 руб./растение, руб.	200000
Затраты, руб.:	
электроэнергия на освещение / вентилирование (стоимость 3,45 руб/кВт·ч)	4388,4 / 1987,2
вода (стоимость 1 м ³ – 53 руб.)	66,25
минеральные удобрения (стоимость комплекса 2000 руб/кг)	40000
средства защиты растений (стоимости комплекса 5000 руб/кг)	500
Затраты на зарплату (из расчета 45 тыс. руб. за неполный рабочий день)	20000
Итого затрат, руб.	246941,85
Первоначальная себестоимость одного мини-клубня, руб. (в последующие годы себестоимость семян будет складываться из собственных затрат на производство. Ожидаемая себестоимость собственных семян не будет превышать 7,50 руб/шт.)	61,74
Стоимость посадочного материала при собственном производстве (в виде черенков), руб.	12,50

Для нормального развития растений освещенность не должна быть меньше 5 тыс. лк на 1 м². Нижний порог (прекращение роста) – 3 тыс. лк/м². По регламентам агротехники норма стандартной освещенности растений составляет 12 тыс. лм/м². Световая отдача натриевой лампы низкого давления – 150 лм/Вт. Натриевая лампа низкого давления мощностью 100 Вт может дать 12000 лк на 1 м² площади. При периоде освещения 14 ч на 1 м² требуется 1,4 кВт энергии в сутки.

Период вегетации растений – 90-120 дней, световой период – 3 месяца (90 дней) с освещением + 1 месяц без света.

Сводные данные, полученные из табл. 1 и 2, приведены в табл. 5.

Таблица 5. Сводные данные по выращиванию пищевого картофеля в условиях аэрогидрофотоники

Показатели	Значение
Площадь под выращивание картофеля (двухуровневые установки), м ²	250
Запланированный урожай картофеля с 1 м ² площади, кг	8
Запланированный урожай с 250 м ² , кг	2000
Себестоимость 1 кг продовольственного картофеля, руб.	144,50
Запланированный урожай семян с 1 м ² условной площади, шт.	16
Объем помещения под выращивание семенного картофеля, м ³	10
Число мини-клубней, отбираемое с урожая для возобновления семенного фонда	4000
Себестоимость одного мини-клубня, руб.	61,74
Себестоимость одного мини-клубня (при собственном производстве)	12,50

Выводы

1. Разработана схема выращивания картофеля в условиях аэрогидрофотоники с использованием искусственного освещения в закрытых помещениях с производством пищевого картофеля и собственного семенного фонда.

2. Для выращивания семенного и продовольственного картофеля класса «Бэби» можно использовать аэрогидропонные устройства выращивания растительного материала в виде микро-растений и черенков или гидропонный метод с использованием твердых

субстратов для выращивания растений из черенков или мини-клубней картофеля.

3. Технично-экономический расчет выращивания продовольственного картофеля «Беби» показал, что себестоимость выращивания продовольственного картофеля не превышает 144,50 руб/кг, что сопоставимо с рыночной стоимостью продовольственного картофеля в весенний период года. Себестоимость мини-клубня в первый год выращивания будет высокой из-за первоначальной высокой цены исходного пробирочного материала. Однако в последующие годы цена исходного материала не будет превышать 12,5 руб. за клубень, что значительно ниже, чем себестоимость клубня, получаемого при традиционном производстве в семеноводческих компаниях.

Список

использованных источников

1. Mansoor S. Evaluation of BAP effects on plantlets micro tuberization of five potato cultivars // Journal of Applied Life Sciences International, 2017. Т. 12 (3). P. 1-6.
2. Julian R. Mateus-Rodriguez, Stef de Haan, Jorge L. Andrade-Piedra, Luis Maldonado, Guy Hareau, Ian Barker, Carlos Chuquillanqui, Victor Otazú, Rebeca Frisancho, Carolina Bastos, Arione S. Pereira, Carlos A. Medeiros, Fabian Montesdeoca, Jacqueline Benítez. Technical and Economic Analysis of Aeroponics and other Systems for Potato Mini-Tuber Production in Latin America // American Journal of Potato Research, 2013. V. 90. Issue 4. P. 357-368.
3. Мартиросян Ю.Ц. Аэропонные технологии в первичном семеноводстве картофеля – перспективы и преимущества // Методы биотехнологии в селекции и семеноводстве картофеля : матер. Междунар. науч.-практ. конф., сер. «Картофелеводство» : сб. науч. тр. М.: ФГБНУ «ВНИИКС имени А.Г. Лорха», 2014. С. 175-179.
4. Марданшин И.С. Технология выращивания мини-клубней картофеля сорта «Башкирский» в условиях водной культуры // Там же. С. 180-187.
5. Наконечная О.В., Холин А.С. и др. Влияние светодиодного освещения разного спектра на развитие салата листового (*Lactuca sativ*) // Известия РАН. Серия биологическая. 2023. № 3. С. 278-286.

6. Кульчин Ю.Н., Субботин Е.П., Холин А.С. и др. Влияние эпидермиса листьев растений на эффективность их взаимодействия с низкоинтенсивным лазерным излучением // Квантовая электроника. 2023. Т. 53. № 1. С. 79-87.

7. Мишулов Н.П., Щеголихина Т.А., Жевора С.В. и др. Интеллектуальные технологии в оригинальном семеноводстве клубнеплодов: анализ. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. 84 с.

8. Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Жевора С.В. и др. Аэрогидрофотоника в растениеводстве. М.: Книг-Издат, 2023. 328 с.

9. Манохина А.А., Старовойтов В.И., Старовойтова О.А. Возделывание продовольственного картофеля из мелких мини-клубней, полученных в условиях водно-воздушной культуры // Проблемы и перспективы развития науки и образования: матер. Всеросс. (нац.) науч.-практ. конф. Тверь, 2023. С. 350-353.

10. Хутинаев О.С., Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Манохина А.А., Шабанов Н.Э., Колесова О.С. Выращивание мини-клубней картофеля и топинамбура в условиях водно-воздушной культуры с использованием искусственного освещения // Вестник ФГБОУ ВПО МГАУ им. В.П. Горячкина. 2018. № 4 (86). С. 7-14.

Technology for Growing Edible Potatoes in the Far North Using Artificial Lighting Indoors

V.I. Starovoitov, O.A. Starovoitova, O.S. Khutinaev

(FRC of Potatoes named after A.G. Lorch)

T.A. Shchegolikhina

(FGBNU "Rosinformagrotech")

A.A. Manokhina

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

Summary. The article deals with the technology of growing edible potatoes of the "Baby" class using aerohydroponics with artificial lighting in enclosed spaces. The combined lighting with LED and gas-discharge lamps to emit a wide range of the most significant light waves in the PAR spectrum turned out to be 2 times more effective when growing mini-tubers of potatoes compared with lighting only with bicolor LED lamps in the red-blue spectrum.

Key words: potatoes, aerohydroponics, artificial lighting, tubers.

УДК 631.17:631.86

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-7-31-32

Увеличение продуктивности подсолнечника путем применения биологического препарата Метабактерин

М.А. Белик,
науч. сотр.,
Mashabelik@yandex.ru

Т.А. Юрина,
науч. сотр.,
agrolaboratoriya@mail.ru

О.Н. Негреба,
науч. сотр.,
olganegreba@yandex.ru
(Новокубанский филиал
ФГБНУ «Росинформагротех»
[КубНИИТИМ])

Аннотация. Представлены результаты исследования влияния биологического препарата Метабактерин, СП на продуктивность подсолнечника при опрыскивании растений. По результатам эксперимента выявлено, что при использовании данного препарата продуктивность подсолнечника увеличилась на 3 %.

Ключевые слова: подсолнечник, Метабактерин, опрыскивание, эксперимент, фенологическое наблюдение, продуктивность.

Постановка проблемы

Одной из основных проблем при возделывании подсолнечника является низкая продуктивность, обусловленная различными факторами, включая наличие заболеваний, вредителей и неблагоприятные погодные условия [1]. Для достижения гарантированно высоких урожаев необходимо применять безопасные для окружающей среды биологические препараты, которые помогают бороться со стрессовыми факторами [2].

При возделывании различных сельскохозяйственных культур (включая подсолнечник) использование биопрепаратов в технологических схемах [3] способствует более эффективному использованию как материальных, так и энергетических ресурсов, позволяя решать задачи снижения загрязнения окружающей среды химикатами. Однако применение биологических

препаратов требует проведения исследований с оценкой их влияния на рост и продуктивность растений [4].

Цель исследований – оценка эффективности применения биопрепарата Метабактерин, СП на формирование продуктивности подсолнечника.

Материалы и методы исследования

Для проведения исследований были использованы опытные деланки подсолнечника на экспериментальном поле Новокубанского филиала ФГБНУ «Росинформагротех» (КубНИИТИМ). После уборки предшественника (озимая пшеница) были выполнены следующие полевые работы по подготовке почвы к посеву и уходу за подсолнечником: лущение почвы (К-744Р + БДТМ-6×3) на глубину 10-12 см, вспашка (К-744Р + ПЛН-8-40) на глубину 25-27 см, выравнивание зяби (JD-8420 + КПМ-10), культивация (К-744Р + Корунд-9), посев опытных деланок (МТЗ-82 + Kuhn Planter III), опрыскивание посевов подсолнечника (МТЗ-82 + ОПГ-3000 «Гварта»), две междурядные культивации (МТЗ-82 + КРН-5,6).

В экспериментальной схеме предусматривалось опрыскивание растений биопрепаратом Метабактерин, СП в определенную фазу роста. Для обработки использовались различные препараты в сравнении с контрольной схемой (табл. 1).

Метабактерин, СП [5] представляет собой инновационный биологический фунгицид, содержащий консорциум

бактерий различных родов. Его использование обеспечивает комплексный уход за растениями, стимулирует их рост, защищает от стрессовых условий и различных заболеваний.

При выполнении экспериментальных исследований применялась методы статистической обработки данных [6].

Результаты исследований и обсуждение

Динамику роста растений подсолнечника изучали в течение всего периода вегетации (рис. 1, табл. 2).

В результате эксперимента было выявлено значительное улучшение показателей роста подсолнечника при применении данного биопрепарата. Через 14 дней после опрыскивания растений в фазе 5-6 пар настоящих листьев и последующих контрольных измерений было отмечено увеличение высоты растений подсолнечника на 6,3-19,2 см по сравнению с контролем.

Перед проведением уборочных работ провели обмеры культурных растений в обоих вариантах опыта на участках длиной 10 м и шириной два ряда каждый. Результаты предуборочного мониторинга представлены в табл. 3.

Предуборочный мониторинг опытных посевов показал, что в экспериментальном варианте значения исследуемых показателей превышают значения тех же показателей контрольного варианта. Так, длина растений увеличилась на 20,21 см, диаметр корзинки – в среднем на 2,7 см, а масса семян с одного растения – на 3,55 г.

Таблица 1. Схемы внесения препаратов

Фаза растений	Контрольная схема	Экспериментальная схема
После посева	Бриг, КС (2,0 л/га) + + Ацетал Про, КЭ (2,0 л/га)	Бриг, КС (2,0 л/га) + + Ацетал Про, КЭ (2,0 л/га)
5-6 настоящих листьев	Ультрамаг Бор (1,0 л/га) + + Кинфос, КЭ (0,25 л/га)	Ультрамаг Бор (1,0 л/га) + + Кинфос, КЭ (0,25 л/га) + + Метабактерин, СП (0,02 кг/га)



Рис. 1. Измерение высоты растений



Рис. 2. Уборка подсолнечника

Таблица 2. Высота растений по фазам развития культуры

Фаза развития	Высота растений по опыту, см	
	контроль	экспериментальная схема
Полные всходы	2,5	
2 пары настоящих листьев	6,2	
5-6 пар настоящих листьев	32,4	
7-9 настоящих листьев	86,4	92,7
Бутонизация	100,3	110
Цветение	160,1	179,3

Оценку продуктивности подсолнечника (табл. 4) проводили по вариантам опыта при достижении полевой влажности 5,6% при уборке комбайном Полесье GS 12 с жаткой Falcon 870 (рис. 2).

Применение в экспериментальном варианте биопрепарата Метабактерин, СП способствовало увеличению массы 1000 семян на 7,68 г, или на 12,9 %, что привело к прибавке продуктивности подсолнечника по сравнению с контрольным вариантом на 1,15 ц/га, или на 3 %.

Выводы

1. Проведенные исследования подтвердили эффективность применения биологического препарата Метабактерин, СП для повышения продуктивности подсолнечника. Использование данного препарата приводит к улучшению показателей роста растений и увеличению урожайности.

2. Использование биологических препаратов может быть эффективным инструментом для улучшения производ-

ственных показателей возделываемых культур, в том числе подсолнечника.

Список

использованных источников

1. Нестерова Е.М., Громаков А.А., Турчин В.В. Совместное применение минеральных удобрений и регуляторов роста при возделывании подсолнечника в условиях Нижнего Дона // АгроЭкоИнфо. 2019. № 4. EDN: UDJMHE.
2. Manylova O., Zharkova S., Sokolova L. Biological effectiveness of biofungicide metabacterin, wp in the protection of glycine hispida maxim., and pisum sativum l. from ascochitosis and solanum tuberosum l. from late blight in the conditions of the altai ob region // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2022. № 14(2). С. 312-325. DOI: 10.12731/2658-6649-2022-14-2-312-325.
3. Юрина Т.А., Белик М.А., Негреба О.Н., Ермаков А.А. Повышение урожайности сельскохозяйственных культур при частичной биологизации производства // Техника и оборудование для села. 2023. № 4. С. 22-24. DOI: 10.33267/2072-9642-2023-4-22-24.
4. Пискарева Л.А., Чевердин А.Ю., Бочарникова И.И. Оценка эффективности применения различных агропрепаратов на продуктивность подсолнечника в условиях Центрального черноземья // Самарский научный

Таблица 3. Результаты предуборочного мониторинга посевов

Показатели	Контроль	Экспериментальная схема
Длина растения, см	190,46	210,67
Диаметр корзинки, см	16,20	18,90
Масса семян с одного растения, г	61,15	64,70

Таблица 4. Оценка продуктивности подсолнечника

Показатели	Контроль	Экспериментальная схема
Масса 1000 семян, г	59,54	67,22
Продуктивность, ц/га	38,28	39,43
Прибавка, ц/га	-	1,15

вестник. 2022. № 2. С. 108-112. DOI: 10.55355/srv2022112115.

5. Справочник пестицидов и агрохимикатов – АГРО XXI, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. М.: Минсельхоз России, 2023.

6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 2012. (Переиздана 2024). 416 с.

Increasing Sunflower Productivity Through the Use of the Biological Preparation Metabacterin

M.A. Belik, T.A. Yurina, O.N. Negreba
(Novokubansk branch of the Federal State Budgetary Institution "Rosinformagrotech" [KubNIITiM])

Summary. The article deals with the results of the study on the influence of the biological preparation Metabacterin, SP on the sunflower productivity when spraying plants. According to the results of the experiment it was revealed that when using this drug the sunflower productivity increased by 3%.

Key words: sunflower, Metabacterin, spraying, experiment, phenological observation, productivity.

УДК 621.785.539

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-7-33-35

Обоснование результатов испытаний на относительную износостойкость упрочняющих покрытий, полученных методом ТВЧ-наплавки

В.Ф. Аулов,

канд. техн. наук, вед. науч. сотр.,

Ю.Н. Рожков,

мл. науч. сотр.,

tckboy@yandex.ru

(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Аннотация. Проведены исследования результатов испытаний на абразивное изнашивание различных покрытий, нанесенных методом ТВЧ-наплавки, по сравнению с износостойкостью материала рабочих органов. Исследовались покрытия из карбида бора с добавлением интерметаллидов на основе железа, оксида вольфрама, $FeSi$, а также комбинированные покрытия с твердосплавным материалом Т15К6.

Ключевые слова: покрытие, абразивный износ, ТВЧ-наплавка, износостойкость.

Постановка проблемы

Износ рабочих поверхностей – распространенная проблема всех устройств, используемых для обработки земли и посева. Поскольку агрегат для обработки почвы в сезон может быть задействован на площади до 10000 га, а рабочие органы придут в негодность значительно раньше, то задачи повышения прочности и долговечности рабочих органов являются первоочередными.

Многие производители пытались решить проблему установкой на рабочие органы сменных износостойких пластин, но такое решение снизило конкурентоспособность многих машин. В условиях России это решение оказалось дорогим и неэффективным. В настоящее время более актуальна разработка новых упрочняющих покрытий для рабочих органов, которые, кроме укрепления кромок,

обеспечивали бы износостойкость остальной части поверхности с помощью современных высокотехнологичных методов.

При выборе предпочтительного способа восстановления и упрочнения рабочих органов сельскохозяйственных машин важно учитывать, какой толщины покрытие можно нанести и результативность его применения [1]. ТВЧ-наплавка позволяет наносить толстослойные покрытия с повышенной износостойкостью при высокой производительности [2-4].

Кроме того, ТВЧ-наплавка позволяет получить композиционное металл-керамическое покрытие, состоящее из двух базовых слоев. Первый – стальной подслоя с модифицированным химическим составом. Второй – упрочняющий слой, содержащий матрицу из железоборидной эвтектики, богатый частицами цементита, боридов и карбоборидов железа, а также компонентами, легирующими сталь [5]. Эти компоненты способны дать дополнительное дисперсное упрочняющее покрытие. Между покрытиями находится диффузионная граница.

В некоторых случаях для улучшения равномерности покрытия ТВЧ-наплавку комбинируют с электроискровым легированием. Использование этого комбинированного способа позволит получить покрытия с износостойкостью, превышающей показатели закаленной стали 65Г более чем в 5,5 раз [6].

Основная проблема для применения ТВЧ-наплавки – подбор материала для нанесения покрытий. Это обусловлено небольшим выбором синтезируемых материалов из-за

малого ассортимента недорогих эвтектических материалов, продаваемых в виде порошков, что может удорожать готовую продукцию. Одним из способов решения данной проблемы стало применение экзотермических смесей, что позволяет проводить процесс наплавки с помощью экзотермической реакции, проходящей при нагреве смеси до 850°C. Однако для различных типов покрытий могут потребоваться другие составы [7-8].

Цель исследований – анализ износостойкости покрытий, полученных методом ТВЧ-наплавки и выбор наиболее перспективного типа покрытий.

Материалы и методы исследования

Прочность и продолжительность службы деталей и рабочих органов сельскохозяйственных машин во многом зависит от того, насколько износостойкие материалы использовались для их изготовления.

Самый надежный способ проверить, насколько хорошо материалы справляются с износом, – испытания деталей и покрытий из них в полевых условиях. Однако такие испытания не позволяют изучить несколько видов материалов одновременно, кроме того, почва везде немного разная, сравнивать результаты испытаний между собой не всегда корректно.

Лабораторные испытания создают условия, максимально приближенные к реальным и одинаковые для всех образцов. Это позволяет с высокой точностью оценить, как износостойкие материалы поведут себя в процессе эксплуатации [9].

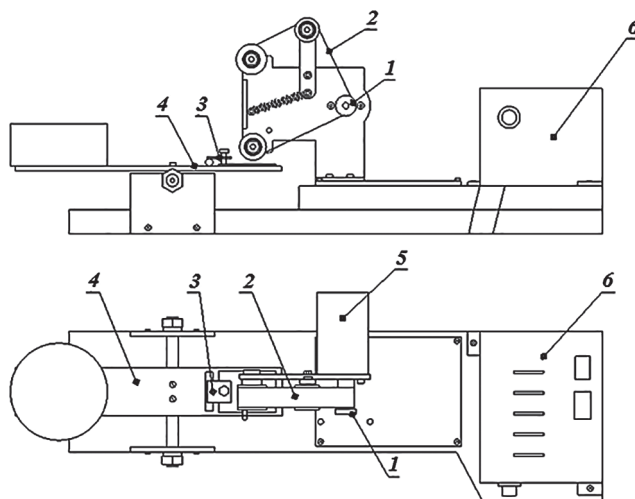
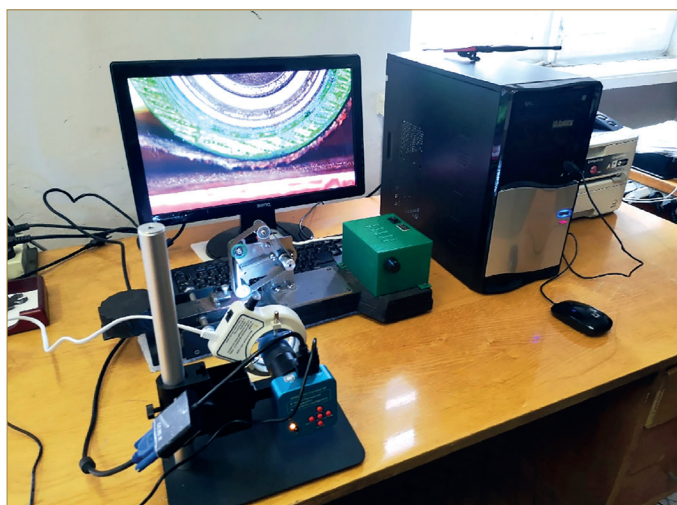


Рис. 1. Общий вид и схема устройства: 1 – ротор с осью; 2 – абразивная лента; 3 – держатель образца; 4 – рычаг; 5 – электродвигатель, 6 – блок управления

Для испытаний было создано устройство, которое позволяет тестировать образцы без необходимости заранее их шлифовать [10].

Устройство для быстрого тестирования износостойкости образцов собрано на единой платформе, включает в себя ось ротора, абразивную шлифовальную ленту, держатель для образца, рычаг, к которому крепится образец, электродвигатель с возможностью регулировки вращения и блок управления (рис. 1). Образцы для испытаний представляют собой плоские пластинки размером 60×40 мм и толщиной 3 мм.

Техническая характеристика устройства

Абразив	Абразивная лента Р60
Сила прижима, Н	17,417
Линейная скорость, м/с	1,8
Время испытания, мин	5

Для анализа и обработки данных экспериментов использовали компьютерные программы: Microsoft Office Excel 2010 и Statistica 6.0.437.0.

В качестве образцов исследовали следующие покрытия: B_4C , $B_4C+Fe_2Al_5$, $B_4C+NiAl$, $B_4C+П-0,66$, $Ti5K6+TBЧ$, $C+Ti5K6$, $B_4C+П-0,66+WO_3$, $B_4C+Fe_2Al_5+WO_3$, $B_4C+Ni_2Al_3+WO_3$, $B_4C+П-0,66+FeSi$ (50%), $B_4C+П-0,66+FeSi$ (90%), сталь 65Г (закаленная), сталь 40.

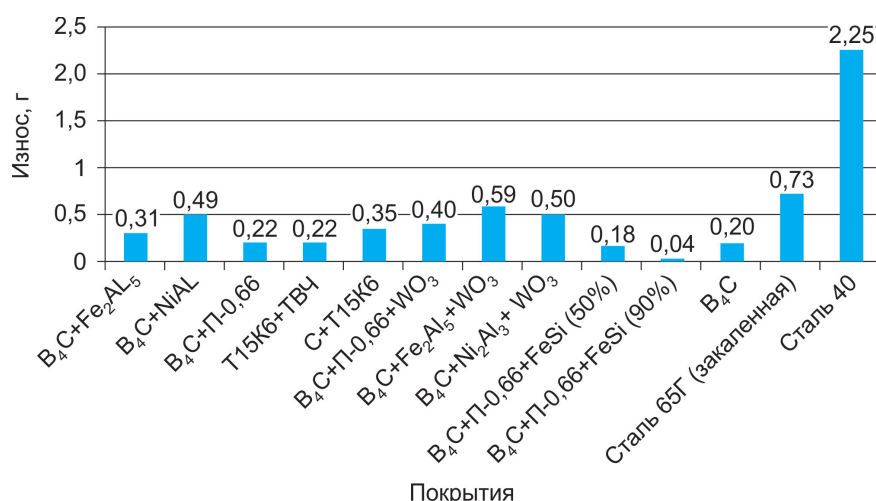


Рис. 2. Результаты испытаний на износ образцов

Результаты исследований и обсуждение

На рис. 2 представлена гистограмма с результатами испытаний на износ всех образцов.

Минимальный износ наблюдается у покрытий из карбида бора с добавлением П-0,66 и FeSi. Он составляет соответственно 0,18 и 0,04 г при добавлении 50% FeSi и 90% FeSi. При этом покрытие $B_4C+П-0,66+FeSi$ (90%) обладает также повышенной хрупкостью, в условиях эксплуатации происходит его интенсивное выкрашивание при работе на каменистых почвах. Применение таких покрытий при упрочнении рабочих органов сельскохозяйственных ма-

шин допустимо с определенными условиями.

Добавление WO_3 не увеличивает износостойкость покрытий по сравнению с покрытием из B_4C . Высокой износостойкостью с допустимой хрупкостью обладают комбинированные покрытия $Ti5K6+TBЧ$, а также покрытия из карбида бора с добавлением П-0,66, износ которых составил 0,22 г. Это в 3,3 раза меньше, чем износ закаленной стали 65Г.

Выводы

1. В результате испытаний минимальный износ наблюдался у покрытий из карбида бора с добавлением

порошка П-0,66 и FeSi. При добавлении 50% и 90% FeSi он составил 0,18 и 0,04 г соответственно.

2. Высокой износостойкостью с допустимой хрупкостью обладают комбинированные покрытия Т15К6+ТВЧ, а также покрытия из карбида бора с добавлением П-0,66, износ которых составил 0,22 г, что в 3,3 раза меньше, чем у образцов из закаленной стали 65Г.

3. Анализ результатов испытаний на износостойкость показал, что при упрочнении или восстановлении рабочих органов сельскохозяйственной техники следует применять комбинированные покрытия Т15К6+ТВЧ, В₄С+П-0,66+FeSi (50%), В₄С+П-0,66.

Список

использованных источников

1. **Плаксин А.М., Водясов Е.В.** Пути повышения долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин // Вестник ЧГАА. 2014. Т. 68. С. 60-63.

2. **Ишков А.В., Полковникова М.В., Маликов В.Н.** [и др.]. Структура и свойства упрочняющих покрытий из твердых сплавов с низким содержанием хрома для деталей сельхозмашин // Известия Тульского ГУ. Технические науки. 2023. № 9. С. 366-370.

3. **Дорохов А.С., Ишков А.В., Иванайский В.В.** [и др.]. Применение интерметаллидов для повышения износостойкости покрытий при скоростном ТВЧ-борировании // Технический сервис машин. 2019. № 3(136). С. 143-155.

4. **Новиков В.С.** Упрочнение рабочих органов почвообрабатывающих машин на заданный ресурс: моногр. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2018, 169 с.

5. **Кривочуров Н.Т., Ишков А.В., Иванайский В.В., Дейнеко А.В.** Опыт использования скоростного ТВЧ-борирования для упрочнения деталей с.-х. машин, восстановленных электроконтактным напеканием железного порошка // Вестник Алтайского ГАУ. 2020. № 11(193). С. 111-119.

6. **Аулов В.Ф., Рожков Ю.Н.** К вопросу о совмещении электроискрового и термодиффузионного методов для упрочнения поверхностей деталей машин в АПК // Техника и оборудование для села. 2022. № 2(296). С. 28-32.

7. **Силяков С.Л., Юхвид В.И.** Формирование упрочняющих покрытий для рабочих органов с.-х. машин при совмещении высокочастотного нагрева и высокотемпературного синтеза материалов // Российская с.-х. наука. 2018. № 1. С. 63-69.

8. **Ишков А.В., Мишустин Н.М., Иванайский В.В.** Структура и свойства износостойких слоев, полученных из стали 65Г высокоскоростным борированием // Горизонты образования. 2010. № 12. С. 12-15.

9. **Новиков В.С.** Обеспечение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2008. 38 с.

10. **Аулов В.Ф., Рожков Ю.Н., Лялякин В.П.** Новое устройство и порядок сравнительных испытаний абразивной износостойкости покрытий стали 65Г, полученных скоростным ТВЧ-борированием

// Технический сервис машин. 2021. Т. 143. С. 120-129.

Substantiation of the Test Results for the Comparative Wear Resistance of Reinforcing Coatings Obtained by High-frequency Current Weld Overlay

V.F. Aulov, Yu.N. Rozhkov
(FGBNU FNATS VIM)

Summary. Research has been carried out on the results of tests for abrasive wear of various coatings applied by high-frequency current weld overlay in comparison with the wear resistance of the material of the working parts. The coatings made of boron carbide with the addition of iron-, tungsten oxide-, FeSi-based intermetallic compounds as well as combined coatings with T15K6 carbide material were studied.

Key words: coating, abrasive wear, high-frequency current weld overlay, wear resistance.



ПротеинТек
Форум и экспо

Специализированный форум и выставка по кормовым протеинам и глубокой переработке высокобелковых культур

Москва, отель Лесная Сафмар
25 сентября 2024

+7 (495) 585-5167 | info@proteintek.org | www.proteintek.org



ПроПротеин
Форум и экспо

Специализированный форум и выставка по новым пищевым протеинам

Растительное мясо, насекомые и культивируемое "мясо из пробирки"

Москва, отель Лесная Сафмар
26 сентября 2024

+7 (495) 585-5167 | info@proprotein.org | www.proprotein.org

ТЕМЫ ФОРУМА:

- Технологии и рынки растительных и животных протеинов.
- Глубокая переработка растительного сырья.
- Технологии производства и применения протеинов в питании и кормлении животных.
- Растительные заменители мяса.
- Перспективные протеины, в том числе из насекомых.
- Биотехнологическое производство кормового белка из метана и другого сырья.
- Технологии производства искусственного мяса.

ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ РЕКЛАМЫ:

- ✓ Форум и выставка "ПротеинТек" и "ПроПротеин" привлекут в качестве участников владельцев и топ-менеджеров компаний, что обеспечит Вам, как спонсору, уникальные возможности для встречи с новыми клиентами;
- ✓ Большой выставочный зал будет удобным местом для размещения стенда Вашей компании;
- ✓ Выбор одного из спонсорских пакетов позволит Вам заявить о своей компании, продукции и услугах, и стать лидером быстрорастущего рынка



Оценка работоспособности упорного подшипникового узла отремонтированных 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. Обосновано выражение для получения ресурса упорного подшипникового узла отремонтированных погружных электродвигателей. На основании проведения стендовых испытаний были установлены параметры, обеспечивающие оценку ресурса упорного подшипникового узла электродвигателей с использованием полученного выражения.

Ключевые слова: модель надёжности, наработка, предельный износ, отказ.

Постановка проблемы

Вторым по надёжности элементом погружных электродвигателей (ПЭ) после их обмотки является упорный подшипниковый узел (ПУ) [1, 2]. За отказ упорного ПУ принимается снижение высоты подпятника ПЭ до предельного значения, указанного в нормативно-технической литературе [3].

Многочисленными исследованиями предлагается ряд функций для описания износа элементов электродвигателей от наработки, моделью долговечности упорного ПУ является зависимость, связывающая величину его износа с наработкой [4-7]. Износ упорного ПУ возникает в момент включения и отключения ПЭ [8]. В период включения и отключения износ обусловлен сухим трением поверхности резиновой подушки на подпятнике о железо опорной пяты ПЭ. Для оценки мероприятий, на-

правленных на повышение качества восстановления ПЭ, необходимы сведения о послеремонтном ресурсе их упорных ПУ.

Работы по испытаниям погружных электродвигателей ведутся в ЮУрГАУ. При этом была установлена модель, характеризующая наработку упорного подшипникового узла в зависимости от скорости и ускорения его изнашивания [1, 2].

Цель исследования – экспериментально, аналитическим путём, установить соответствие упорных подшипниковых узлов отремонтированных погружных электродвигателей техническим требованиям.

Материалы и методы исследования

Универсальной функцией, описывающей широкий спектр вопросов реального износа и старения элементов электрооборудования, является степенная функция [8-10]. Для оценки скоростных параметров износа элементов электрооборудования использовались элементы математической статистики, экспериментальные исследования базировались на основе проведения стендовых испытаний [11, 12].

В качестве параметра технического состояния упорного ПУ была взята высота его подпятника, имеющая своё предельное значение, которая снижается из-за износа в процессе эксплуатации при пуске и остановке погружного электродвигателя.

Анализ модели изнашивания по наработке упорного подшипникового узла в зависимости от скорости и ускорения его изнашивания показал, что её можно использовать при оценке долговечности до первого капитального ремонта. Как показывает

опыт эксплуатации ПЭ в различных областях, включая АПК, у предприятий, эксплуатирующих водонасосное оборудование, большинство ПЭ уже побывало в капитальном ремонте.

Известно, что в ходе капитального ремонта используются не только новые запасные части, но и бывшие в эксплуатации, имеющие износ менее допустимого значения. С учетом этого предположенная ранее модель [2] была усовершенствована:

$$h - h_0 = V_0 t + \frac{at^2}{2}, \quad (1)$$

где h – значение параметра технического состояния (износа) при наработке t ;

h_0 – значение износа за время эксплуатации до ремонта;

V_0 – начальная скорость изнашивания;

a – ускорение изнашивания.

Ресурс упорного ПУ будет равен тому периоду времени, при котором износ достигает своего предельного значения, следовательно, выражение (1) можно привести к виду

$$H - h_0 = V_0 T_{\text{пу}} + \frac{aT_{\text{пу}}^2}{2}, \quad (2)$$

где H – предельный износ подпятника;

$T_{\text{пу}}$ – ресурс упорного ПУ.

Результаты исследований и обсуждение

Для удобства дальнейших расчетов уравнение (2) можно представить выражением

$$aT_{\text{пу}}^2 + 2V_0 T_{\text{пу}} - 2(H - h_0) = 0. \quad (3)$$

Анализ уравнения (3) указывает на наличие в нем двух корней, установление которых связано с вычислением дискриминанта

$$D = 4V_0^2 + 8\alpha(H - h_0). \quad (4)$$

Значение корней (ресурса) уравнение (3) находят с помощью дискриминанта (4) и посредством выражений

$$T_{пу1} = \frac{-2V_0 - \sqrt{4V_0^2 + 8\alpha(H - h_0)}}{2\alpha}; \quad (5)$$

$$T_{пу2} = \frac{-2V_0 + \sqrt{4V_0^2 + 8\alpha(H - h_0)}}{2\alpha}. \quad (6)$$

Анализ уравнения (5) показывает, что оно имеет отрицательное значение. Вследствие этого расчет ресурса упорного ПУ будет проводиться с использованием уравнения (6), после преобразования оно будет иметь вид

$$T_{пу} = \frac{V_0}{a} \left(\sqrt{1 + \frac{2\alpha(H - h_0)}{V_0^2}} - 1 \right). \quad (7)$$

Использование выражения (7) для оценки ресурса $T_{пу}$ упорного ПУ сводится к следующему:

- из технических требований на капитальный ремонт ПЭ установить значение H ;
- на основе микрометрирования установить значение h_0 за предыдущий период эксплуатации;
- путем проведения стендовых испытаний установить параметры V_0 и α ;
- установить ресурс упорного ПУ с применением модели надежности (7).

Для определения параметров V_0 и α можно использовать эксплуатационные или стендовые испытания. Поскольку эксплуатационные испытания часто растягиваются на многие годы, было принято решение для определения указанных параметров использовать результаты стендовых испытаний. Для этой цели в ЮУрГАУ разработан стенд ускоренной оценки ресурса упорного ПУ ПЭ (рис. 1).

Общий вид исследуемого электронасоса представлен на рис. 2.

На испытаниях один за другим было поставлено шесть погружных электродвигателей ПЭДВ 1,1 – 95 водонасосных установок ЭЦВ 4 – 1,5 – 80, выбранных случайным путем и про-

шедших капитальный ремонт на ведущем сервисном предприятии г. Челябинска по ремонту и обслуживанию погружных электродвигателей.

По данным нормативно-технической документации, предельное значение износа составляет $H = 1$ мм, минимально допустимый ресурс после ремонта $T_{пу \text{ мин}} = 12,8$ тыс. ч. По данным стендовых испытаний, начальная скорость изнашивания V_0 упорного ПУ соответственно составила 1,1; 1,3; 2,1; 0,9; 2,2; 2,0 мм/ (тыс. цикл). Ускорение изнашивания α упорного ПУ этих электродвигателей соответственно равно 0,1; 0,3; 0,1; 0,2; 0,1; 0,4 мм/(тыс. цикл)². С использованием модели надежности (7) был установлен послеремонтный ресурс $T_{пу}$ упорных ПУ, который

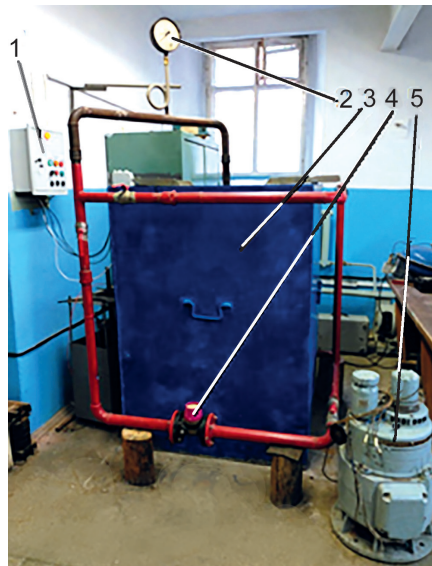


Рис. 1. Стенд для испытания ПЭ:

- 1 – электрический щит;
2 – манометр; 3 – бак;
4 – счетчик расхода воды;
5 – индукционный регулятор

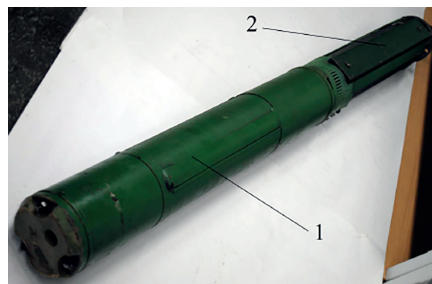


Рис. 2. Исследуемый электронасос:

- 1 – погружной электродвигатель;
2 – насосная установка

соответственно составил 16,9; 11,37; 15,7; 13,27; 10,6; 7,9 тыс. ч.

На основании полученных значений ресурса следует, что второй, пятый и шестой электродвигатели по техническому состоянию не соответствуют техническим требованиям на капитальный ремонт, т.е. 50% капитально отремонтированных ПЭ на рассматриваемой сервисной организации не соответствуют установленным нормам надежности.

Выводы

1. Усовершенствована модель надежности упорного ПУ ПЭ, обеспечивающая возможность оценки его ресурса после капитального ремонта.

2. На разработанном стенде была испытана на надёжность партия из отобранных случайным образом шести капитально отремонтированных погружных электродвигателей ПЭДВ 1,1 – 95 мощностью $P = 1,1$ кВт, при этом установлены скорость и ускорение изнашивания их упорных ПУ.

3. Полученные параметры с использованием усовершенствованной модели позволили установить послеремонтный ресурс упорных ПУ партии капитально отремонтированных ПЭ, указывающий на несоответствие 50% узлов техническим требованиям на ремонт.

Список

используемых источников

1. 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 10.55934/2587-8824-2023-30-2-214-217.
2. Оценка параметра начальной скорости изнашивания модели долговечности упорного подшипникового узла погружных электродвигателей / В.А. Буторин, Л.А. Саплин, И.Б. Царев, Р.Т. Гусейнов // АПК России. 2019. Т. 26. № 5. С. 801-805. EDN UIJGGI.
3. ТК 70.0009.001-84. Электродвигатели трехфазные асинхронные короткозамкнутые водонаполненные погружные. Технические требования на капитальный ремонт. М.: ГОСНИТИ, 1985. 78 с.

4. **Дружинин Г.В.** Надёжность автоматизированных производственных систем. Изд. 4-е. М.: Энергоатомиздат, 1986. 480 с.

5. **Ермолин Н.П., Жерихин И.П.** Надёжность электрических машин. М.: Энергия, 1976. 248 с.

6. **Гольдберг О.Д.** Испытание электрических машин. М.: Высшая школа, 2000. 255 с.

7. **Михлин В.М.** Управление надёжностью сельскохозяйственной техники. М.: Колос, 1984. 335 с.

8. **Гриценко А.В.** Диагностирование электрических насосов бензиновых двигателей / А.В. Гриценко, С.П. Хвостов // Вестник ЧГАА. 2015. Т. 71. С. 22-28.

9. **Гриценко А.В.** Алгоритм, информационные характеристики процесса технического диагностирования, методики проектирования и оптимизации устройств диагностирования // Вестник ЧГАА. 2013. Т. 63. С. 38-41.

10. Тестовое диагностирование электрических топливных насосов / А.В. Гриценко, К.И. Лукомский, Д.Б. Власов, К.В. Глемба // АПК России. 2017. Т. 24. № 5. С. 1161-1167.

11. **Гриценко А.В.** Выявление скрытых отказов электрических топливных насосов мобильных энергетических средств в сельском хозяйстве методом тестового диагностирования / А.В. Гриценко, К.В. Глемба, Д.Б. Власов // АПК России. 2018. Т. 25. № 2. С. 258-265.

12. **Попов В.М., Афонькина В.А.** Проблемы проектирования и эксплуатации электротехнологических установок // Достижения науки – агропромышленному производству : матер. II Междунар. науч.-техн. конф. 2013. С. 227-232.

Assessing the Performance of a Thrust Bearing Assembly of the Repaired Submersible Electric Motors

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

(South Ural State Agrarian University)

Summary. The expression for obtaining the service life of a thrust bearing assembly of the repaired submersible electric motors is substantiated. The bench tests resulted in establishing the parameters for assessment of the service life of the electric motor thrust bearing assembly using the substantiated expression.

Key words: reliability model, operating time, wear limit, failure.



ЮГАГРО

31-я Международная выставка

сельскохозяйственной техники,
оборудования и материалов
для производства и переработки
растениеводческой
сельхозпродукции

19-22

ноября 2024

Краснодар,
ул. Конгрессная, 1
ВКК «Экспоград Юг»



СЕЛЬСКО-
ХОЗЯЙСТВЕННАЯ
ТЕХНИКА
И ЗАПЧАСТИ



ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ПОЛИВА
И ТЕПЛИЦ



АГРО-
ХИМИЧЕСКАЯ
ПРОДУКЦИЯ
И СЕМЕНА



ХРАНЕНИЕ
И ПЕРЕРАБОТКА
СЕЛЬСКО-
ПРОДУКЦИИ

Бесплатный билет
YUGAGRO.ORG



ОРГАНИЗАТОР
ORGANISER

Генеральный
партнёр

РОСТСЕЛЬМАШ

Генеральный
спонсор

РОСАГРОТРЕЙД

Стратегический
спонсор

**Мировая
техника**

Официальный
партнёр

**ШЕЛКОВО
АГРОСИМ**

Официальный
спонсор



Спонсор
деловой
программы



Спонсор
информационных
стоков



**BDA
CAPITAL, LLC**

Спонсоры
выставки

syngenta

**20
YEARS**

Zemlyakoff



УДК 631.33

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-7-39-41

Пневматический высевающий аппарат вакуумного действия с универсальной дозирующей системой

Б.Х. Ахалая,канд. техн. наук, вед. науч. сотр.,
badri53@yandex.ru**Ю.С. Ценч,**д-р техн. наук, гл. науч. сотр.,
vimaspp@mail.ru
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Аннотация. Разработан пневмовысевающий аппарат, работающий на вакууме с оригинальной дозирующей системой, снабженной регулятором количества высеваемых семян, изготовленным в виде диска-накладки с лопастями и штуцером. Пневмовысевающий аппарат новой конструкции способен менять норму высева семян двух культур с соблюдением схем размещения и заделки их в почву на разную глубину.

Ключевые слова: пневмовысевающий аппарат, семенной бункер, дозирующая система, ступенчатый сошник, фиксатор.

Постановка проблемы

Энергоэффективность производства сельскохозяйственной продукции оценивается по соотношению энергопотенциала и техногенных энергозатрат, причем оба показателя зависят от урожайности соответствующей культуры, уровень которой закладывается на стадии посева и обуславливается многими факторами. Среди них большое значение имеют производительность сеялок и площадь питания каждого растения, определяемая степенью неравномерности распределения семян по площади поля при рядовом способе посева, контролируемой их количеством, высеянным за один и тот же временной интервал. Распределение и подача семян в каждый рядок осуществляются высевальными аппаратами, показатели качества работы которых зависят от конструктивного исполнения.

Важную роль в формировании урожая и накоплении питательных веществ в посевах играют способы и нормы высева компонентов. Совмещенные посевы злаковых с бобовыми выполняют двумя способами: в районах с достаточным увлажнением – широкими рядами смесью в один рядок; в засушливых – чередующимися рядками: два рядка – кукуруза, один – соя [1].

По данным Л.Н. Соколовской, лучшим способом посева оказался ленточный, где два ряда кукурузы чередовались с лентой сои (в ленте – три ряда сои с междурядьем 15 см). При данном способе посева в урожае содержание сои составляет 19,2–31,5% от массы кукурузы. Урожай чистой кукурузы – 301 ц/га, в смеси – 372 ц/га, протеина – соответственно 3,55 и 6,2 ц/га.

Ряд исследователей обосновывают эффективность посевов различных компонентов в одно гнездо. В качестве аргументов приводят данные по повышению содержания переваримого протеина в одной кормовой единице. Однако следует отметить, что в большинстве случаев по белку зеленая масса таких посевов полностью не сбалансирована. Данные по улучшению способов посева одновременно нескольких культур имеют весьма противоречивый характер, однако большинство исследователей отмечают более высокую эффективность раздельного посева семян по сравнению с высевом в одно гнездо.

Смешанные посевы следует размещать в полевых, кормовых и других специализированных севооборотах на полях, предназначенных для силосных культур, а в некоторых случаях – на постоянных участках, расположенных вблизи животновод-

ческих ферм и силосных сооружений. Следует учесть засоренность полей и вносимые в предшествующие годы гербициды [2].

Посев имеет существенное значение для технологии производства растений и к сеялкам предъявляет высокие требования. На основе сведений, накопленных на базе исследований, известны уже подробно условия прорастания и полевой всхожести семян, т.е. требования, предъявляемые к качественному посеву. На базе данной информации возможна разработка машин для посева сельскохозяйственных культур. Для их работы могут быть определены достаточно четкие цели, на основе которых возможно оценивать целесообразность подбора определенного способа посева и типажа сеялок, целью которого является дружное прорастание и всхожесть максимального количества посевного материала.

Высокий урожай – окончательный индикатор оценки работы в рамках установленных финансовых ограничений и предъявляемых к технике требований. С другой стороны, на прорастание семян влияет большое количество факторов, которые до сих пор должным образом не изучены. С точки зрения технологии эти условия играют существенную роль, так как семена могут прорасти лишь при определенных внешних факторах.

Технология посева подбирается так, чтобы были обеспечены достаточные условия для прорастания семян. В данном отношении требования разных родов растений отличаются друг от друга, кроме того, значение имеет не только производство, но и хранение зерна [3–5].

Как известно, 50% питательности рациона обеспечивают сочные кор-

ма, основным из которых является силос. В нем более полно сохраняются питательные вещества и витамины зеленой массы растений. По питательным качествам он близок к зеленому корму. Особенно ценен силос, изготовленный из кормовых культур, богатых углеводами и белком. Силос изготавливается из чистой кукурузы высокого качества, но содержит мало протеина – 50-60 г на 1 корм. ед., вместо 100-115 г по зоотехническим нормам. Основной путь получения высококачественных силосов – совмещенные посевы кукурузы с культурой, содержащей большое количество белка.

Возделывание пропашных культур связано с большими затратами труда на формирование густоты насаждения растений и борьбу с сорняками в рядах. История развития способов посева пропашных культур, таких как кукуруза, подсолнечник, сахарная свекла и хлопчатник, шла от рядового к квадратно-гнездовому, от него – к точному, часто – к гнездовому и пунктирному способам посева. По сравнению с зерновыми у пропашных сеялок достаточно полно решены вопросы технологии и равномерности глубины заделки семян. При этом всегда ставилась задача получить равномерное распределение семян и растений в рядах и оптимальную густоту насаждения растений при минимальных затратах на их формирование. Решение этих проблем возлагается на сеялки точного высева семян, пунктирный и комбинированный способы посева [4].

С учетом изложенного актуальным является вопрос создания конструкции пневматического высевающего устройства, отвечающего всем требованиям, касающимся высева семян различных сельскохозяйственных культур, со строгим соблюдением норм высева как совмещенным, так и пунктирным способами.

Цель исследований – разработать пневматический высевающий аппарат вакуумного действия с универсальной дозирующей системой, обеспечивающий различные способы высева семян.

Материалы и методы исследования

В ФГБНУ ФНАЦ ВИМ разработана новая конструкция пневматического устройства, позволяющая высевать семена монокультур и их смеси с учетом агролюбований различных сельскохозяйственных растений [6].

Пневматический высевающий аппарат вакуумного действия с универсальной дозирующей системой (рис. 1) содержит семенной бункер, разделенный перегородкой на две части, вентилятор (не показан), воздуховод, камеру разрежения, сошник, высевающие диски с присасывающими прорезями, установленные на осях, соединительную втулку, ворошилку, звездочки.

Камера разрежения выполнена в виде дуги, по бокам которой имеются щели для создания вакуума и прижатия к прорезям высевающих дисков семян двух культур с разных сторон дуги. Снизу высевающего аппарата закреплен двухуровневый полозовидный сошник, который позволяет размещать семена в борозду на разную глубину заделки. Он крепится на двух осях высевающего аппарата.

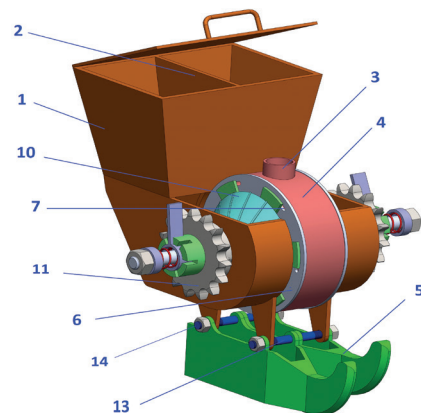


Рис. 1. Пневматический высевающий аппарат вакуумного действия с универсальной дозирующей системой:

- 1 – семенной бункер;
- 2 – перегородка; 3 – воздуховод;
- 4 – камера разрежения;
- 5 – сошник; 6 – высевающий диск;
- 7 – присасывающая прорезь;
- 10 – ворошилка; 11 – звездочка;
- 13, 14 – оси

Универсальное дозирующее устройство снабжено регулятором нормы высева, выполненным в виде диска-накладки, жестко закрепленного на конце соединительного штуцера (рис. 2).

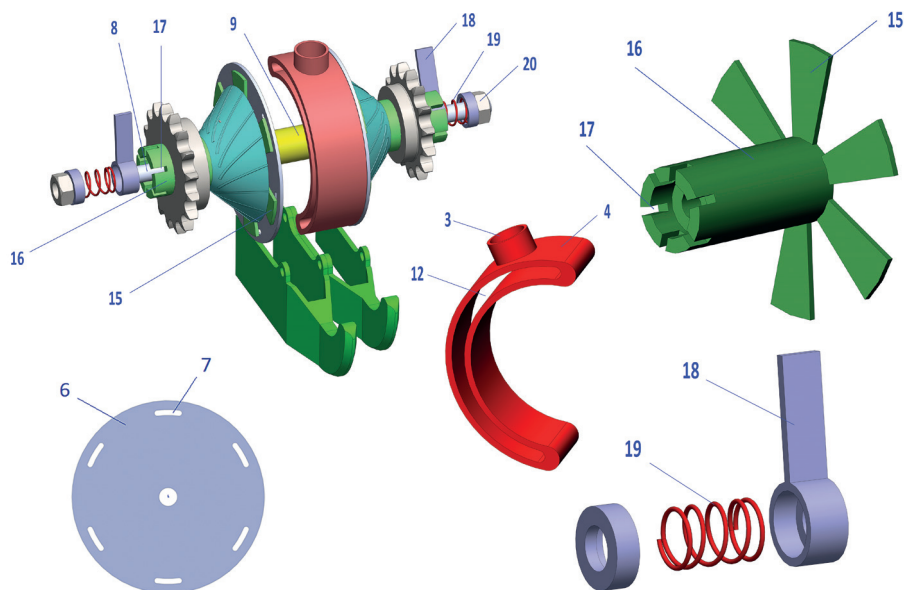


Рис. 2. Универсальное дозирующее устройство:

- 3 – воздуховод; 4 – камера разрежения; 6 – высевающий диск; 7 – щель;
- 8 – ось; 9 – соединительная втулка; 15 – регулятор нормы высева;
- 16 – соединительный штуцер; 17 – штуцерный паз; 18 – рычаг-фиксатор;
- 19 – пружина с крепежной гайкой; 20 – шайба

Внешний диаметр диска-накладки меньше диаметра высевашего диска и на нем вырезаны шесть лопастей. Регулятор жестко связан с высевашим диском и установлен с возможностью смещения относительно него. По окружности высевашего диска с отступом от его края 10 мм выполнены шесть прорезей шириной 2 мм и длиной 20 мм.

Ширина лопасти равна длине прорези диска в месте ее перекрытия, расстояние между прорезями – не меньше ее длины. Другой конец штуцера выполнен с шестью пазами и фиксатором в виде рычага с пружиной, вставленным в один из пазов. Длина штуцера равна сумме ширины приемной камеры высевашего аппарата, толщины его боковой крышки и ширины крепежной гайки с шайбой.

Результаты исследований и обсуждение

Во время работы высевашего аппарата семена из семенного бункера, разделенного перегородкой, поступают к местам расположения ворошилок. Часть семян с помощью вентилятора через воздуховод попадает в камеру, где создается разрежение, и семена двух культур присасываются к прорезям высеваших дисков с разных сторон дуги и транспортируются в зону сброса.

В нижней половине дозатора отделенные семена попадают в ступенчатый сошник, который размещает семена двух видов растений в почве на разной глубине заделки.

Взаимное положение дисков может быть отрегулировано так, чтобы по мере надобности их отверстия совпадали, и тогда семена разных видов растений (из соответствующих отсеков бункера) высеваются в одно гнездо.

При несовпадении отверстий семена высеваются в разные гнезда. Вообще можно создать ряд комбинаций в отношении количества семян в гнезде и расстояний между семенами или гнездами с одним видом семян или с двумя.

В результате использования разработанного высевашего аппарата

при нормальных агротехнических условиях можно высевать совмещено кукурузу и фасоль, кукурузу с соей и другие культуры.

Сеялка, снабженная оригинальными пневмовысевашими устройствами с универсальной дозирующей системой высева, способна повысить урожайность силосной массы на 20-30%, улучшить качество корма для животноводства и обеспечить экономии посевных площадей за счет получения двойного урожая.

Кроме того, это позволяет улучшить экологическую составляющую, уменьшив уплотняющие воздействия на почву за счет сокращения количества проходов агрегата при возделывании и уборке кормовых культур.

Выводы

1. Разработанное пневмовысевашее устройство с оригинальным дозатором способно высевать семена разных фракций, нескольких культур с соблюдением схем и норм высева.

2. При необходимости размещать семена разных культур на одинаковую глубину заделки сошники устанавливаются с одинаковыми полозьями по высоте.

3. Разработка перспективных пневмовысеваших устройств делает возможным расширить парк пневматических сеялок новыми конструкциями для их использования в более широком диапазоне.

Список

использованных источников

1. Федоренко В.Ф., Петухов Д.А., Свиридова С.А., Юзенко Ю.А., Назаров А.Н. Эффективность применения прямого посева и минимальной обработки почвы при возделывании кукурузы на зерно // С.-х. машины и технологии. 2022. Т. 16. № 2. С. 14-21.

2. Завражнов А.И., Лобачевский Я.П., Пустоваров Н.Ю. Разработка и обоснование параметров емкостного датчика высева семян пропашных культур // С.-х. машины и технологии. 2019. № 2. С. 4-9.

3. Ахалая Б.Х., Шогенов Ю.Х., Шогенов А.Х., Ценч Ю.С., Золотарев А.С. Универсальное ресурсосберегающее дозирующее устройство пневматического высевашего аппарата // Вестник Казанского ГАУ. 2020. Т. 15. № 1 (57). С. 59-63.

4. Ахалая Б.Х., Ценч Ю.С., Квас С.А. Технология комбинированного способа посева и высевашие аппараты для его осуществления // Вестник ВИЭСХ. 2018. № 4 (33). С. 61-65.

5. Ахалая Б.Х., Ценч Ю.С., Миронова А.В. Разработка и исследование дозирующей системы высевашего устройства пневматической сеялки // Техника и оборудование для села. 2021. № 6 (288). С. 8-11.

6. Патент № 2787042 Российская Федерация, МПК А01С 7/04. Пневматический высеваший аппарат вакуумного действия с универсальной дозирующей системой : № 2022113844 : заявл. 24.05.2022 : опубл. 28.12.2022 / Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., и др. ; заявитель ФГБНУ ФНАЦ ВИС.

Pneumatic Vacuum Seeder with Universal Dosing System

B.Kh. Akhalaya, Yu.S. Tsench
(FGBNU FNATS VIM)

Summary. A pneumatic vacuum seeder has been developed with an original dosing system equipped with a regulator for the number of seeds sown made in the form of a disk-plate with blades and a fitting. The new design pneumatic seeder is capable of changing the sowing rate of seeds of two crops in accordance with the patterns of placement and embedding them into the soil at different depths.

Key words: pneumatic seeder, seed hopper, dosing system, stepped coulter, lock.



УДК 621.311

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-7-42-45

Основы концепции совершенствования электроснабжения сельских потребителей от системы электроснабжения электрифицированной железной дороги

С.В. Кириллов,

канд. техн. наук, доцент кафедры,
kirill_mich@mail.ru
(ФГБОУ ВО «Мичуринский ГАУ»);

А.В. Виноградов,

д-р техн. наук, доц., гл. науч. сотр.,
зав. лабораторией,
winaleksandr@gmail.com
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Аннотация. Приведен обзор особенностей системы электроснабжения электрифицированной железной дороги переменного тока, питающей разнородную нагрузку, в том числе сельскохозяйственную. Рассмотрены различия требований к качеству электроэнергии для различных электроприемников, получающих питание от системы электроснабжения электрифицированной железной дороги. Предложены к рассмотрению факторы, оказывающие влияние на качество и надежность электроснабжения сельских потребителей от системы электроснабжения электрифицированной железной дороги.

Ключевые слова: электрифицированная железная дорога, система тягового электроснабжения, качество электроснабжения, разнородная электрическая нагрузка, сельские потребители.

Постановка проблемы

Системы транспортного железнодорожного электроснабжения часто используются для питания потребителей разного назначения, в том числе сельскохозяйственных. Доля нетяговых (в том числе сельскохозяйственных) трёхфазных потребителей составляет до 30-40% [1].

Большая часть сельскохозяйственных предприятий и производств, подключенных к электрической сети ОАО «РЖД» – предприятия, расположенные вблизи железнодорожных

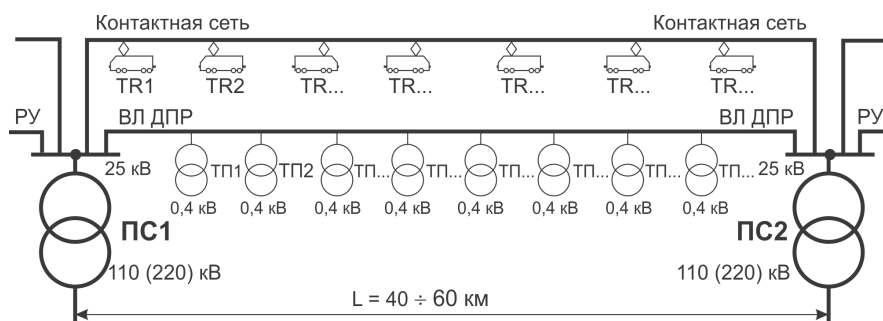
станций и имеющие производство, требующее прямой связи с железнодорожной инфраструктурой. Например, элеваторы, плодоконсервные и перерабатывающие комбинаты, сахарные, мукомольные, крахмалопаточные и экстракционные заводы, животноводческие и птицеводческие фермы и фабрики и др. В структуре нетяговых потребителей, получающих питание от железнодорожных электрических сетей, доля потребления сельскохозяйственных предприятий, производств и населенных пунктов может достигать 70%.

Структурная схема системы тягового электроснабжения переменного тока 25 кВ, питающей сельскохозяйственную нагрузку, приведена на рисунке.

Электрические сети железных дорог получили название ОНР (один дополнительный провод – рельс (однофазные) и ДНР (два дополнительных провода – рельс (трехфазные)), существует и система КРД (контактный провод – рельс – дополнительный провод (трехфазные)). Это связано с их конструктивными особенностями.

Указанные конструктивные особенности, а также ряд технических, технологических факторов, среди которых специфичный график тяговой нагрузки, требования к порядку обслуживания, режимы выработки и использования реактивной мощности и другие, приводят к тому, что при электроснабжении сельских потребителей от сетей железных дорог имеют место перерывы в электроснабжении, отклонения качества поставляемой электроэнергии от норм.

В работах различных авторов предлагаются решения, направленные на поиск путей повышения эффективности систем электроснабжения потребителей, подключенных к электрическим сетям электрифицированных железных дорог. В частности, в работе [2] предложено использование принципов «Умных сетей» (Smart Grid). В работе [3] отмечается необходимость совершенствования нормативно-правовой и практической работы по совершенствованию компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения железных дорог. Предлагается



Структурная схема системы тягового электроснабжения 25 кВ:

ПС 1, ПС 2 – тяговые подстанции переменного тока системы 25 кВ;
ТПi – линейные подстанции; ВЛ ДНР – воздушная линия системы ДНР;
ТРi – электроподвижной состав (электропоезда и электропоезда);
L – расстояние между тяговыми подстанциями;
РУ – распределительное устройство

использование отдельных элементов управляемых электропередач FACTS, в частности, статических компенсаторов реактивной мощности СТАТКОМ [4].

С целью снижения несимметрии при питании нагрузки предлагается применение отсасывающих трансформаторов с обратным проводом и линий 25 кВ с заземленной фазой. На основе компьютерного моделирования показано, что это позволяет повысить качество электроэнергии в системах электроснабжения железных дорог [5]. Рассматриваются модели мультиагентной системы управления установками распределенной генерации в системах электроснабжения железных дорог для улучшения качества процессов управления их режимами [6].

Исследуются вопросы снижения расхода электроэнергии посредством применения выпрямительно-инверторных преобразователей [7], снижения перебегающей несимметрии напряжений (ПН) в электрических сетях, питающих электрифицированные железные дороги за счёт выбора оптимальных мест установки средств компенсации ПН [8]. Рассматриваются возможности применения альтернативных источников энергии, в частности ветровых, в системе тягового электроснабжения железных дорог [9]. Оптимизируются режимы электропотребления объектами железнодорожного транспорта [10].

Таким образом, основной упор в своих работах исследователи делают на совершенствование компенсации реактивной мощности для снижения несимметрии и регулирования напряжения в электрической сети железных дорог, применении элементов управляемых электропередач и «умных» электрических сетей, применение средств распределённой генерации.

В то же время практически не рассмотрены особенности электроснабжения именно сельских потребителей от электрических сетей железных дорог, не проанализировано влияние специфики режимов работы данных сетей, их эксплуатации на показатели надёжности электроснабжения сельских потребителей и качество поставляемой им электроэнергии в привязке к их требованиям. Слабая проработка данных вопросов и нерешённость указанных

проблем приводит к значительному количеству жалоб в адрес ОАО «РЖД» от присоединённых к сетям данной организации сельских потребителей.

Это указывает на актуальность разработки концепции повышения эффективности систем электроснабжения сельских потребителей, питающихся от электрических сетей железных дорог. Она должна предусматривать решения по повышению надёжности электроснабжения и качества поставляемой электроэнергии с учётом всех влияющих факторов, как технических, технологических, так и субъективных.

Цель исследования – изучение особенностей и разработка основных положений концепции совершенствования электроснабжения сельских потребителей от системы электроснабжения электрифицированной железной дороги.

Материалы и методы исследования

Выполнен анализ литературных источников, в которых рассматриваются вопросы совершенствования систем электроснабжения железных дорог и нетяговых потребителей. Проанализированы статистические данные по участку электроснабжения между тяговыми подстанциями переменного тока 25 кВ Никольское и Богоявленск Юго-Восточной железной дороги.

Данный участок железной дороги характеризуется повышенными требованиями к надёжности электроснабжения, так как система электроснабжения ДПР является резервным источником электроснабжения для устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) и связи железной дороги, которые относятся к потребителям 1 категории, и вместе с тем является основным источником питания для потребителей 3-й категории, к которым предъявляются другие требования по надёжности и качеству электроснабжения. В табл. 1 приведены сведения о потребителях, получаемых питание на участке Никольское-Богоявленск Юго-Восточной железной дороги от линии ДПР 25 кВ.

Таким образом, сторонние и, в первую очередь, сельские потребители имеют самую большую присоединённую мощность к сетям участка.

Результаты исследований и обсуждение

Большая часть перерывов в электроснабжении связана с регламентными работами на железнодорожной инфраструктуре – «окна» для проведения монтажных, ремонтных работ. На электрифицированных участках железной дороги в 90-95% случаях работы в «окна» проводятся со снятием напряжения с контактной сети, а в 30-35% случаев

Таблица 1. Сведения о потребителях, получающих питание на участке Никольское-Богоявленск Юго-Восточной железной дороги от линии ДПР 25 кВ

Характеристика потребителей	Число	Категория надёжности электро-снабжения	Присоединённая мощность, кВ·А	Сведения о потребителях
Устройства СЦБ, связи и другие ж.-д. потребители, обеспечивающие оперативную работу железной дороги	29	1	1750	Сигнальные установки, посты ЭЦ, посты КТСМ, НУП, дома связи и др.
Устройства СЦБ, связи и другие ж.-д. потребители, обеспечивающие оперативную работу железной дороги, а также сторонние потребители (совмещённое электроснабжение)	11	1 + 3	1850	Сигнальные установки, получающие питание от одних источников электроснабжения совместно с бытовыми потребителями
Сторонние потребители	14	3	4100	Населенные пункты и объекты сельской местности, административные объекты РЖД

возникает необходимость отключения линии ДПР на участке производства работ. Соответственно, отключаются питаемые от линии сельскохозяйственные потребители. Например, только за 2023 г. количество «окон» продолжительностью 2-4 ч на участках между тяговыми подстанциями переменного тока 25 кВ Никольское и Богоявленск Юго-Восточной железной дороги составило 817, продолжительностью 4-24 ч – 96 и более 24 ч – 4.

Имеется тенденция к росту таких отключений, например, по отношению к 2021 г. общее количество «окон» увеличилось на 8%, а суммарное время связанных с ними перерывов в электроснабжении выросло с 1215 до 1435 ч, т.е. на 18%.

Вторая особенность заключается в том, что имеет место влияние специфики режимов работы сети на качество поставляемой электроэнергии. Это связано с перетоками реактивной мощности при прохождении подвижного состава по разным участкам железной дороги. Также генерация мощности высших гармоник нелинейными потребителями (ЭПС, приборы на основе полупроводников – осветительные лампы и установки, импульсные блоки питания и т.п.) приводит к изменению синусоидальной формы тока и напряжения, уменьшению коэффициента мощности и возникновению мощности высших гармоник с последующей их циркуляцией в системе электроснабжения.

Происходит снижение коэффициента полезного действия электрических двигателей, источников освещения, трансформаторов, повышение погрешности учета электрической энергии тяговых и нетяговых потребителей [11].

Всё это приводит к жалобам потребителей, направляемым в ОАО «РЖД» как электросетевую организацию. Так, только по участку между тяговыми подстанциями переменного тока 25 кВ Никольское и Богоявленск Юго-Восточной железной дороги с 2021 г. число устных обращений увеличилось с 452 до 511. Письменно в 2023 г. обратились 44 потребителя, 5 – написали жалобы и обращения в органы государственной власти, надзорные органы.

Отчасти указанные проблемы связаны с тем, что традиционно сельские электрические сети являются в большинстве радиальными или магистральными с одним источником электроснабжения и не имеют возможности резервирования [12]. Это в полной мере относится и к сетям, питающим сельских потребителей от систем электроснабжения железных дорог.

Разнородность подключенных тяговых и нетяговых потребителей проявляется и в требованиях к качеству поставляемой электроэнергии (табл. 2).

В результате различных требований к качеству электроснабжения тяговых и нетяговых потребителей, в том числе сельских поселений, оперативный персонал подстанций электрифици-

рованной железной дороги старается поддерживать уровень напряжения на шинах РУ своих подстанций, чтобы обеспечить требования Правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. Однако соблюдение этих требований может привести к невыполнению норм ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» и приказа Минэнерго России от 28 августа 2023 г. № 690, т.е. привести к снижению качества электроснабжения нетяговых потребителей.

Все приведённые особенности должны учитываться при составлении положений концепции совершенствования электроснабжения сельских потребителей от системы электроснабжения электрифицированной железной дороги. Разрабатываемая концепция, таким образом, должна содержать следующие положения.

Для обеспечения нормативной надёжности электроснабжения сельских потребителей, питаемых от электрических сетей железных дорог, необходимо:

- усовершенствовать схемы электроснабжения, предусмотрев возможность управления их конфигурацией, в частности, резервирования как по стороне 25 кВ (в том числе посредством установки двух трансформаторов на ТП 25/0,4 кВ с питанием их от

Таблица 2. Различия требований к качеству ЭЭ, поставляемой потребителям, получающим питание от системы электроснабжения электрифицированной железной дороги

Показатели	Тяговые потребители (ЭПС)	Нетяговые потребители
Нормативный документ, регламентирующий качество ЭЭ	Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации (утверждены приказом Минтранса России от 23.06.2022 № 250, зарегистрировано в Минюсте России 20.07.2022 № 69324)	Приказ Минэнерго России от 28 августа 2023 г. № 690 «Об утверждении требований к качеству электрической энергии, в том числе распределению обязанностей по его обеспечению между субъектами электроэнергетики и потребителями электрической энергии»
Номинальное напряжение, В	25000	220 (380)
Пределы изменения питающего напряжения, В	21000-29000 (в исключительных случаях допускается 19000-31000)	198-242 (342-418)
Пределы изменения питающего напряжения, %	32 (±16%), в исключительных случаях – до 48 (±24%)	20 (±10%)
Нормируемые показатели качества ЭЭ:		
продолжительные изменения характеристик напряжения	1	6
случайные события	-	3

разных секционированных участков линии (ДПР), так и по стороне 0,4 кВ. Выполнить соответствующие исследования по обеспечению эффективности средств релейной защиты и автоматики в усовершенствованных схемах электроснабжения с учётом их особенностей;

- обеспечить питание потребителей от мобильных резервных источников электроснабжения в часы тех «окон» обслуживания электрической сети железной дороги, в которые невозможно обеспечить сетевое резервирование. Обосновать необходимую мощность мобильных резервных источников электроснабжения;

- разработать системы мониторинга надёжности электроснабжения сельских потребителей и оснастить ими электрические сети с целью сокращения времени реакции на аварийные отключения, а также в обоснованных случаях автоматического управления конфигурацией сетей;

- усовершенствовать организацию ремонтов, обслуживания железнодорожной инфраструктуры, графики «окон» для минимизации времени перерывов в электроснабжении потребителей.

Для обеспечения нормативного качества электроэнергии, поставляемой сельским потребителям, питаемым от электрических сетей железных дорог, следует:

- применять в системах электроснабжения железных дорог элементы управляемых электропередач FACTS, в частности, в обоснованных случаях статические компенсаторы реактивной мощности СТАТКОМ, управляемые реакторы для обеспечения рациональных режимов выработки и потребления реактивной мощности и поддержания, таким образом, нормативного уровня напряжения и других показателей качества электроэнергии в сетях питания сельских потребителей;

- совершенствовать систему учёта электроэнергии и обеспечить её интеграцию в систему мониторинга качества электроэнергии с возможностью определения источников искажения и перспективой корректировки стоимости электроэнергии в зависимости от её качества.

Выводы

1. Анализ литературных источников и статистических материалов показал, что основными проблемами электроснабжения сельских потребителей от электрических сетей железных дорог являются: недостаточная надёжность, связанная с большим количеством плановых отключений для работ по обслуживанию железнодорожной инфраструктуры; недостаточно высокое качество электроэнергии, связанное с особенностями режимов работы электрических сетей железных дорог, в первую очередь, с графиком тяговой нагрузки, а также с режимом выработки и потребления реактивной мощности, обусловленным конструкцией сети и графиком движения подвижного состава.

2. Разработаны основные положения концепции совершенствования электроснабжения сельских потребителей от системы электроснабжения электрифицированной железной дороги, включающие в себя требования по повышению надёжности электроснабжения, в первую очередь, совершенствованием схем электроснабжения и управлением конфигурации сетей, а также повышению качества электроэнергии применением технологий управляемой электропередачи. Также положения учитывают необходимость разработки и организации систем мониторинга надёжности электроснабжения и качества поставляемой электроэнергии.

Список

используемых источников

1. **Карякин Р.Н.** Тяговые сети переменного тока. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1987. 280 с.
2. **Махмудова А.А.** Повышение качества электрической энергии системы тягового электроснабжения при помощи применения интеллектуальных сетей // Вестник современных исследований. 2018. № 12.10(27). С. 267-270. EDN YVNCFF.
3. **Галкин Е.А.** Особенности компенсации реактивной мощности при тяговой нагрузке // Modern Science. 2020. № 12-5. С. 337-341. EDN EHEVDO.
4. **Арзуманов И.** СТАТКОМ – основа регулирования реактивной мощности в интеллектуальной энергосистеме // Энергия единой сети. 2012. № 2(2). С. 4-13. EDN VYESET.
5. **Крюков А.В.** Улучшение качества электроэнергии в системах электроснабжения стационарных объектов железнодорожного транспорта / А.В. Крюков, И.А. Любченко // Известия

вузов. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 6. С. 53-65. DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-6-53-65. EDN DGPHYA.

6. **Булатов Ю.Н.** Мультиагентный подход к управлению режимами систем электроснабжения железных дорог / Ю.Н. Булатов, А.В. Крюков, А.П. Куций // Вестник Иркутского ГТУ. 2017. Т. 21, № 4(123). С. 108-126. DOI 10.21285/1814-3520-2017-4-108-126. EDN YLJJIN.

7. **Шмальц П.Р.** Применение выпрямительно-инверторного преобразователя на электрофицированном участке железной дороги «Тайгамариинск» // Наука в центральной России. 2012. № 25. С. 197-202. EDN QAEVYJ.

8. Методика определения мест установки средств компенсации перемежающейся несимметрии напряжений в электрической сети с тяговой нагрузкой / В.Н. Тульский, М.А. Силаев, К.В. Шиш [и др.] // Электроэнергия. Передача и распределение. 2023. № 6(81). С. 58-63. EDN UIIEQH.

9. **Шевлюгин М.В.** Оценка потенциала ветровой электроэнергетики для использования в системе тягового электроснабжения железных дорог / М.В. Шевлюгин, И.В. Зеленская, А. Жуматова // Электроника и электрооборудование транспорта. 2017. № 6. С. 41-45. EDN YMXAQX.

10. **Мухамбетов С.Б., Рыхлов В.С.** Алгоритм оптимизации электропотребления объектами железнодорожного транспорта // Интеллектуальный потенциал высшей школы – железнодорожному транспорту : сб. науч. ст. Т.1. Саратов: Научная книга, 2006. С. 92-98.

11. **Кириллов С.В.** Снижение погрешности учёта электроэнергии в системах электроснабжения с преобладающей нелинейной нагрузкой : дис. ... канд. техн. наук. Саратов, 2006. 156 с.

12. **Виноградов А.В.** Принципы управления конфигурацией сельских электрических сетей и технические средства их реализации : моногр. Орёл: Картуш, 2022. 392 с.

The Fundamentals of the Concept of the Improved Power Supply to Rural Consumers from the Electrified Railway Power Supply System

S.V. Kirillov

(Michurinsk State Agrarian University)

A.V. Vinogradov

(FGBNU FNATS VIM)

Summary. The article contains the overview of the features of the power supply system from an electrified AC railway feeding a variety of loads, including agricultural ones. The differences in requirements for the quality of electricity for various electrical receivers which get the power from the power supply system of an electrified railway are considered. Factors influencing the quality and reliability of power supply to rural consumers from the power supply system of the electrified railway are proposed for consideration.

Key words: electrified railway, traction power supply system, quality of electric power supply, heterogeneous electrical load, rural consumers.

К вопросу расчёта экономической эффективности возобновляемых источников энергии

А.А. Шевченко,

канд. техн. наук, доц., декан,

mnpkkgau@mail.ru

Е.А. Сапрунова,

канд. экон. наук, доц.,

saprunova2007@mail.ru

Е.А. Денисенко,

канд. техн. наук, доц.,

denisenko_88@mail.ru

А.В. Квитко,

ст. препод.,

9061870011@mail.ru

(ФГБОУ ВО КубГАУ)

Аннотация. Предложены современные комплексные подходы к расчету экономической эффективности ВИЭ, базирующиеся на классических методиках (статической окупаемости инвестиций, дисконтирования денежных потоков, сравнительного анализа и баланса затрат и выгод) и позволяющих определить срок окупаемости вложений и их прибыльность (оценка затрат на строительство и эксплуатацию с учетом доходов от продажи полученной энергии, экологические последствия и доступность).

Ключевые слова: экономическая эффективность, возобновляемые источники энергии.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № МФИ – 20.1/27.

Постановка проблемы

Вопросы экологии и сохранения окружающей среды стали актуальными для многих стран. В связи с этим возрастает интерес к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ), которые являются одной из основных альтернатив традиционным способам производства электроэнергии на основе угля, нефти и природного газа [1, 2].

Возобновляемые источники энергии находят все большее применение в транспорте, отоплении и других областях. Однако помимо экологических преимуществ использование ВИЭ должно быть оправдано с экономической точки зрения. Для этого проводятся исследования экономической эффективности таких проектов [3]. Предлагаются современные подходы в расчетах экономической эффективности ВИЭ, базирующиеся на классических методиках расчета.

Рынок ВИЭ является одним из наиболее перспективных направлений развития мировой экономики. Он пред-

ставляет собой не только возможность для бизнеса получать прибыль, но и важный инструмент для сохранения окружающей среды и устойчивого развития общества [3]. ВИЭ получают все большую поддержку со стороны государств, бизнеса и общественности, что связано с рядом причин – сокращение запасов нефти, газа и угля, изменение климатических условий и повышение цен на энергоносители [4, 5].

ВИЭ составляют около 10% от всего объема производства электроэнергии в мире. Наибольшие доли приходятся на гидроэнергетику (16%), ветровую (6%) и солнечную (2%) генерацию. Одной из самых перспективных областей развития является солнечная энергетика, к 2050 г. ее доля будет достигать 40%. По прогнозам Межправительственной панели по изменению климата (МПИК) к 2050 г. доля ВИЭ может достигать 80% от всей производимой электроэнергии [2, 6].

На рынке ВИЭ наблюдаются тенденции снижения стоимости оборудования и производства электроэнергии. Согласно отчету Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (МАВИЭ), стоимость производства электроэнергии от солнечных батарей упала на 82% за последние 10 лет, а стоимость ветровых турбин – на 39%. В настоящее время мировые инвестиции в ВИЭ составляют более 300 млрд долл.

Появляются все более эффективные и экономически выгодные технологии для получения электроэнергии из ВИЭ. Кроме того, усиливается конкуренция между различными видами ВИЭ. Например, резкое снижение стоимости оборудования для солнечной энергетики способствовало ускоренному освоению этого направления и повышению его конкурентоспособности.

Перспективы развития рынка ВИЭ связаны с повышением потребления электрической энергии в мире, особенно в развивающихся странах, ужесточением экологических норм и требований к сокращению выбросов парниковых газов, ростом цен на энергоносители (нефть, газ, уголь и др.), развитием новых технологий для получения электроэнергии из ВИЭ и поддержкой со стороны государств и бизнеса.

Вопрос экономической эффективности возобновляемых и традиционных источников энергии является одним из наиболее важных при выборе и разработке программы использования ресурсов. Этот вопрос не только связан с экономическими аспектами, но также имеет социальное значение, поскольку правильный выбор может привести к созданию новых рабочих мест, улучше-

нию условий жизни людей и сохранению окружающей среды.

Цель исследования – анализ современных методов расчёта экономической эффективности ВИЭ и определение факторов, способствующих развитию возобновляемой энергетики.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлись ВИЭ. При проведении исследований применялись статистические и динамические методы оценки инвестиционных проектов.

Анализ экономической эффективности возобновляемых источников энергии (ВИЭ) базируется на оценке затрат на строительство и эксплуатацию с учетом доходов от продажи полученной энергии. Для этого могут применяться следующие современные методы расчета.

Метод статической окупаемости инвестиций (МСОИ) позволяет определить период времени, за который инвестированные деньги вернутся в виде дохода. Расчет проводится по формуле

$$T = I/G, \quad (1)$$

где T – период окупаемости;

I – инвестиции;

G – годовой доход.

Однако данный метод не учитывает изменения цен на электроэнергию и другие факторы, которые могут повлиять на экономическую эффективность.

Метод дисконтирования денежных потоков (МДДП) учитывает изменения цен на электроэнергию и другие факторы в течение времени. Расчет проводится по формуле

$$NPV = \sum (CF_t / (1 + r)^t), \quad (2)$$

где NPV – чистая приведенная стоимость;

CF_t – денежный поток в момент времени t ;

r – дисконтирующая ставка.

Метод позволяет определить, является ли инвестиция в возобновляемые источники энергии прибыльной или убыточной и какой должна быть дисконтирующая ставка для достижения желаемой доходности.

Метод сравнительного анализа (МСА) заключается в сравнении экономической эффективности разных проектов по использованию возобновляемых источников энергии. Расчеты выполняются по формуле

$$PI = (PV \text{ of benefits} / PV \text{ of costs}), \quad (3)$$

где PI – индекс прибыльности;

$PV \text{ of benefits}$ – приведенная стоимость выгод от проекта;

$PV \text{ of costs}$ – приведенная стоимость затрат на проект.

Этот метод позволяет выбрать наиболее экономически эффективный проект из нескольких альтернативных.

Метод баланса затрат и выгод (МБЗВ) учитывает все затраты и выгоды на протяжении всего срока эксплуатации проекта. Расчет может проводиться по формуле

$$CER = (NPV \text{ of benefits} - NPV \text{ of costs}) / (CO_2 \text{ emissions avoided}), \quad (4)$$

где CER – стоимость избежания выбросов CO_2 ;

$NPV \text{ of benefits}$ – приведенная стоимость выгод от проекта;

$NPV \text{ of costs}$ – приведенная стоимость затрат на проект.

Данный метод позволяет определить, какие затраты окупятся за счет экономии на выбросах CO_2 .

При анализе экономической эффективности ВИЭ следует учитывать особенности каждого типа возобновляемых источников энергии, например для солнечных батарей – инсоляция на местности, для ветрогенераторов – скорость ветра. Также необходимо рассчитывать затраты на хранение и транспортировку энергии, так как производство энергии при использовании ВИЭ является непостоянным [1, 2]. Следует также учитывать финансовые механизмы, которые используются для поддержки развития возобновляемых источников энергии (государственные субсидии или системы кредитования под низкий процент).

Помимо экономической составляющей, принятие решения об инвестировании в ВИЭ должно основываться на комплексном анализе всех факторов: экологических, социальных и экономических. Следует обучать и информировать население по использованию возобновляемых источников энергии, создавать условия для продвижения данной технологии на рынке.

Результаты исследования и обсуждение

Сравнительный анализ экономической эффективности ВИЭ и традиционных источников позволяет определить, какие типы энергии представляют собой оптимальный выбор для конкретных условий.

Один из главных факторов, который учитывается при проведении сравнительного анализа экономической эффективности ВИЭ и традиционных источников, – стоимость производства. Для каждого типа топлива она может значительно различаться, что влияет на конкурентоспособность. Так, стоимость производства энергии из солнечного излучения выше, чем из углеводородного топлива, но снижение цен на солнечные панели и другие компоненты может уменьшить эту разницу.

Другой фактор – стоимость эксплуатации, которая включает в себя расходы на ремонт и обслуживание оборудования, зарплату работников и другие операционные расходы. ВИЭ могут требовать меньше ресурсов для собственного обеспечения, поэтому более экономичны в этой части.

Традиционные источники энергии, такие как нефть и уголь, оказывают серьезные экологические воздействия, включая загрязнение воздуха, почвы и воды. ВИЭ менее разрушительны для окружающей среды, что может привести к сокращению расходов на ликвидацию экологических нарушений.

Доступность ВИЭ также важно оценивать при расчетах экономической эффективности. Для их использования часто требуются специальные технологии, которые могут быть недоступны или стоить слишком дорого для определенных регионов или стран. Например, использование

гидроэнергетики может быть ограничено наличием подходящих водохранилищ.

Повышение экономической эффективности использования ВИЭ является одной из важнейших задач современного общества. Одной из главных причин, почему ВИЭ все еще не так широко распространены, является отсутствие поддержки со стороны правительства. Государственные программы и инвестиции в эту область могут значительно ускорить развитие возобновляемой энергетики.

Кроме того, стоимость производства оборудования для ВИЭ до сих пор остается довольно высокой. Одна из основных причин – недостаток опыта в производстве такого рода техники. Усложняется ситуация еще больше тем, что конкурентной борьбе приходится стать международной. Поэтому необходимо искать пути снижения затрат на производство оборудования для возобновляемой энергетики.

Развитие технологий является ключевым фактором в повышении экономической эффективности использования ВИЭ. Необходимо продолжать совершенствование уже существующих технологий, а также разрабатывать новые, более эффективные методы генерации возобновляемой энергии. Для того чтобы возобновляемая энергетика могла стать действительно конкурентоспособной, необходима соответствующая инфраструктура. Это может включать в себя строительство новых линий передачи, установку нового оборудования или модификацию старого.

Программное обеспечение может значительно повлиять на экономическую эффективность использования ВИЭ. С его помощью можно оптимизировать работу систем генерации, управления потоками энергии и многих других аспектов производства и распределения возобновляемой энергии.

Возобновляемая энергетика может взаимодействовать с другими отраслями, такими как транспорт или здравоохранение, чтобы повысить свою экономическую эффективность. Например, использование возобновляемой энергии для зарядки электромобилей может значительно уменьшить затраты на топливо. Развитие возобновляемой энергетики требует высококвалифицированных специалистов. Необходимо продолжать обучение и подготовку кадров в этой области, чтобы развивать новые технологии и методы генерации возобновляемой энергии.

Привлечение инвесторов является одной из ключевых задач при разработке проектов по использованию ВИЭ. Инвесторы могут помочь финансировать строительство новых объектов или модификацию старых, что, в свою очередь, может повысить экономическую эффективность производства возобновляемой энергии. Повышение экономической эффективности использования ВИЭ является одной из главных задач нашего времени. Для достижения этой цели необходимо сочетать усилия правительства, инвесторов и специалистов в данной области.

Выводы

1. Для определения экономической эффективности ВИЭ необходимо применять комплексный подход, используя несколько методов (статическая окупаемость инвестиций,

дисконтирование денежных потоков, сравнительный анализ и баланс затрат и выгод).

2. Развитие ВИЭ является важным направлением для обеспечения экологической безопасности и устойчивого развития сельских территорий. Анализ экономической эффективности ВИЭ для конкретного региона поможет выявить оптимальные решения для инвестирования в данную отрасль. При разработке программы использования ресурсов необходимо учитывать не только экономические аспекты, но также социальные и экологические последствия для населения.

3. Оценка экономической эффективности ВИЭ и традиционных источников позволит оптимизировать структурно-схемные решения источников электроэнергии в зависимости от требований потребителей. Для повышения энергетической эффективности ВИЭ следует также учитывать эксплуатационные затраты, экологические последствия и доступность.

Список использованных источников

1. **Амерханов Р. А., Кириченко А.С., Касьянов Р.С.** Возможности использования возобновляемых источников энергии Краснодарского края // Междунар. науч. журнал. Альтернативная энергетика и экология. 2015. № 13-14. С. 12-25.
2. **Григораш О.В., Попов А.Ю., Воробьев Е.В.** и др. Новая элементная база возобновляемых источников энергии: моногр. Краснодар : КубГАУ, 2018. 202 с.
3. **Кашин Я.М., Копелевич Л.Е., Самородов И.Б., Ким В.А., Артеяня К.З.** Ветро-солнечный генератор и его характеристики // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». 2019. № 6. С. 201-214.
4. **Лукитин Б.В., Муравлев И.О., Плотников И.А.** Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями. Томск : Томский политехнический университет, 2015. 128 с.
5. **Никитенко Г.В., Коноплев Е.В., Лысаков А.А.** Ветро-солнечная система автономного электроснабжения // Сел. механизатор. 2018. № 4. С.28-29.
6. **Юдаев И.В., Даус Ю.В.** Солнечная электроэнергетика юга России: имеющийся потенциал, эксплуатируемые объекты, перспективы развития // Альтернативная энергетика в регионах России : сб. матер. конф. «АЭР-2018». Астрахань, 2018. С. 45-49.

The Calculation of the Economic Efficiency of the Renewable Energy Sources

A.A. Shevchenko, E.A. Saprunova, E.A. Denisenko, A.V. Kvitko

(Kuban State Agrarian University)

Summary. The calculation of the economic efficiency of renewable energy sources is done using the classical methods (static return on investment, cash flow discounting, comparative analysis and balance of costs and benefits) allowing to determine the payback period of investments and their profitability (estimation of construction and operating costs taking into account the income from the sale of generated energy; the impact on the environment and availability).

Key words: economic efficiency, renewable energy sources.