

ТЕХНИКА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СЕЛА MACHINERY AND EQUIPMENT FOR RURAL AREA

В НОМЕРЕ

Техническая политика в АПК

Пестряков Е.В., Катаев Ю.В., Костомахин М.Н., Петрищев Н.А., Саяпин А.С.
Контроль технического состояния энергонасыщенных тракторов с использованием
алгоритмов искусственного интеллекта2

Технико-технологическое оснащение АПК: проблемы и решения

Зерноуборочный комбайн RSM 161: двухбарабанный, производительный,
комфортный6
Подольская Е.Е., Бондаренко Е.В., Ревенко В.Ю. Нормативное обеспечение
испытаний поливных машин и установок8

Технологии, машины и оборудование для АПК

Яруллин Ф.Ф., Ибятков Р.И., Абдуллин Р.Ф., Хазиев А.А. Результаты
экспериментальных исследований дискового рабочего органа в почвенном
канале 12
Хутинаев О.С., Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Щеголихина Т.А.,
Манохина А.А. Технологии ускоренного размножения исходного семенного
материала из *in vitro* микрорастений на биотехнологическом модуле АГМ-60 17
Юрочка С.С., Базаев С.О., Довлатов И.М., Владимиров Ф.Е., Петров Е.Б.
Концепция цифровой оценки фенотипа и поведения крупного рогатого скота 24
Васильев Э.В., Егоров С.А., Максимов Д.А., Шалавина Е.В. Исследование
аэробной ферментативной переработки смеси конского и козьего навоза с
оценкой потерь углерода и азота газовым выбросом 29
Гайдар С.М., Пикина А.М., Лапсарь О.М., Дулясова М.В. Результаты иссле-
дования эффективности ингибиторов коррозии донорно-акцепторного действия. 33

Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение АПК

Осокин С.В., Васильев А.А., Тихомиров Д.А., Васильев А.Н. Исследование
возможности обработки кормового зерна СВЧ-излучением через волноводы
прямоугольного сечения с открытым торцом37

Аграрная экономика

Волков А.И., Прохорова Л.Н., Данилов К.С. Экономическая эффективность
инновационных технологий возделывания пивоваренного ячменя 41
Голубев И.Г., Дулясова М.В., Быков В.В., Голубев М.И., Шахов В.А. Опыт
и экономическая эффективность изготовления запасных частей к зарубежной
сельскохозяйственной технике на российских предприятиях 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)

Редакция журнала:

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



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

© «Техника и оборудование для села», 2024

Отпечатано в ФГБНУ «Росинформагротех»

Подписано в печать 20.09.24 Заказ 136

УДК 631.171:004.4

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-9-2-5

Контроль технического состояния энергонасыщенных тракторов с использованием алгоритмов искусственного интеллекта

Е.В. Пестряков,мл. науч. сотр.,
unlimited-007@yandex.ru**Ю.В. Катаев,**канд. техн. наук, вед. науч. сотр.,
ykataev@mail.ru**М.Н. Костомахин,**канд. техн. наук, вед. науч. сотр.,
redizdat@mail.ru**Н.А. Петрищев,**канд. техн. наук, вед. науч. сотр.,
gosniti14@mail.ru**А.С. Саяпин,**мл. науч. сотр.,
comaconcrsas@mail.ru
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Аннотация. Выполнен анализ и представлены предложения по повышению уровня технического обслуживания, улучшению контролепригодности и ресурсоопределяющих узлов отечественной энергонасыщенной техники с помощью алгоритмов искусственного интеллекта и новых диагностических устройств. Рассматривается растущая роль искусственного интеллекта в сельском хозяйстве, а именно в диагностировании состояния сельскохозяйственной техники, накоплении огромных банков данных и обработке больших массивов данных.

Ключевые слова: техническое состояние, диагностирование, нейронные сети, счётчик-индикатор, энергонасыщенная техника, контролепригодность.

Постановка проблемы

Работа над новым программным обеспечением для диагностирования энергонасыщенной техники с применением искусственного интеллекта ведется во всем мире. Также параллельно с программами разрабатываются новые вычислительные устройства, позволяющие хранить и обрабатывать большие объемы данных. Все это позволяет создавать сложные компьютерные системы, в которых задействовано множество сторонних устройств [1, 2].

Современные устройства для диагностирования состояния тракторного парка позволяют накапливать большой массив информации. Также на многих современных тракторах уже заводом-изготовителем предусмотрена встроенная бортовая система на основе CAN-интерфейса, служащая для контроля работы техники [3]. Все это позволяет накапливать огромные объемы информации,

с обработкой которой в настоящее время возникают определенные трудности.

Программные комплексы все чаще используют в сельском хозяйстве как для управления технологическими процессами, так и для диагностирования текущего состояния парка машин. При этом очень важен правильный и бесперебойный сбор данных с технического средства. Значительный массив данных требует качественного и быстрого анализа. Для накопления информации применяют технологию BigData, а при ее анализе – алгоритмы искусственного интеллекта. Главной причиной использования данных алгоритмов является то, что базы данных диагностической информации становятся очень объемными, а технические средства, в частности, энергонасыщенная техника, – все более технически сложными, возрастает уровень автоматизации производственных процессов. Однако любая нештатная ситуация может привести к сбою всего технологического процесса. Зачастую экономически выгоднее проводить плановое техническое обслуживание, чем срочный ремонт, а так как классическое диагностирование занимает много времени, требуются информационно-технические решения для существенного уменьшения трудоемкости данного процесса [4, 5].

В этом направлении проведено очень мало исследований, что позволяет говорить о новизне идеи и актуальности разработки специализированных технических средств для диагностирования, программного комплекса, обрабатывающего данные в реальном времени, и алгоритмов искусственного интеллекта на основе нейронных сетей.

Цель исследования – создание программного комплекса на базе нейронной сети для бортового вычислительного устройства по контролю технического состояния энергонасыщенных тракторов.

Материалы и методы исследования

Материалом для исследования послужил прототип средства диагностирования и прогнозирования состояния тракторной техники, который использует алгоритмы искусственного интеллекта. В основу были заложены алгоритмы машинного обучения – нейронные сети и Random Forest.

Основа прототипа средства диагностирования – одноплатный компьютер Orange Pi 5 как центральное вычисли-

тельное устройство. Кроме того, была разработана база данных для хранилища массива информации с помощью системы управления базами данных (СУБД) Postgres SQL. Диагностирование сельскохозяйственной энергонасыщенной техники с использованием элементов искусственной нейронной сети позволяет оперативно определять техническое состояние ее узлов и агрегатов и дает достоверную картину работоспособности всей машины [6, 7].

В зависимости от характера поставленных задач использовались графический метод исследований, методы математического анализа с применением программного обеспечения (ПО), методы системного и статистического анализа с использованием пакетов Python, C/C++, Microsoft Office Excel 2020, а также статистические данные, которые отражены в трудах [8, 9].

Результаты исследований и обсуждение

Во многих экономически развитых странах для повышения уровня работоспособности энергонасыщенной сельскохозяйственной техники и сокращения трудоемкости ее обслуживания применяют цифровые технологии и искусственный интеллект [10, 11]. Чтобы правильно обучить какой-либо алгоритм искусственного интеллекта требуется хорошо структурированная информация, в том числе эталонная выборка для обучения и переобучения. Разработали специальное диагностическое устройство, которое может аккумулировать все поступающие данные и отправлять их на сервер. Для этого был выбран одноплатный компьютер Orange Pi 5.

Orange Pi 5 – вычислительный модуль нового поколения, использует современный 8-ядерный 64-битный процессор на 8-нм техпроцессе, основная частота которого достигает 2,4 ГГц. Модуль оснащен встроенным графическим процессором ARM Mali-G610, встроенным высокопроизводительным 3D-процессором и модулем ускорения 2D-изображений. Встроенный NPU процессор с вычислительной мощностью 6Tops позволяет запускать алгоритмы искусственного интеллекта. Оперативная память 32 ГБ, имеется возможность выдавать изображение на дисплей в качестве до 8K по специальному порту HDMI (рис. 1).

Orange Pi 5 предоставляет такие интерфейсы, как GPIO, M.2 PCIe2.0, Type-C, Gigabit LAN, USB2.0, USB3.0 и др. Этот модуль специально предназначен для разработки встроенных высоконагруженных решений на самые различные технические устройства, поддерживает Orange Pi OS (Droid), официальную операционную систему, разработанную Orange Pi, а также Android12 и Debian11 и другие дистрибутивы операционной системы Linux.

Сначала на данном одноплатном компьютере была установлена операционная система на базе Linux, затем все необходимые библиотеки для разработки программ. Далее было разработано программное обеспечение по сбору информации со всех устройств сети на языке программирования C/C++, также может работать совместно с языком Python 3.

На рис. 2 представлен пример программы по сбору информации с датчиков, установленных на технике. Сто-

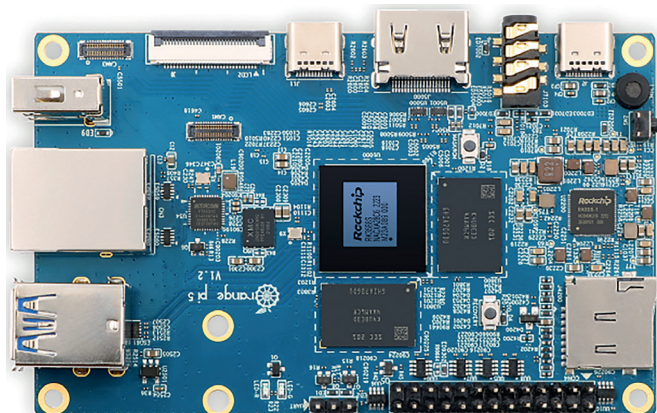


Рис. 1. Одноплатный компьютер Orange Pi 5

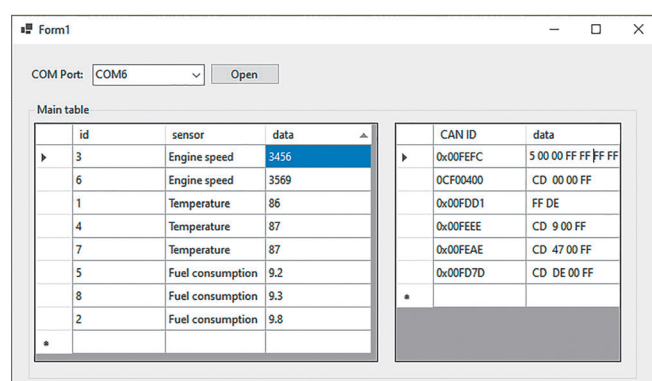


Рис. 2. Диалоговое окно программы по сбору информации

ит отметить, что их количество может быть увеличено в десятки раз, при этом логика программы не меняется, доработок не потребуется. Также она имеет возможность подключиться к CAN-шине трактора.

Программа автоматически определяет, сколько устройств одновременно работает в сети. Далее вся информация обрабатывается и конвертируется в табличный вид, собирается в локальную базу данных и отправляется на сервер. Информация дублируется, защищая систему от непредвиденных потерь. От сервера программное обеспечение получает аналитику о состоянии техники.

С помощью диагностического устройства текущее состояние сельскохозяйственной техники можно увидеть непосредственно в кабине или на других цифровых устройствах, имеющих доступ к центральному серверу. Одноплатный компьютер Orange Pi 5 обладает довольно высокой вычислительной мощностью, позволяет запускать даже алгоритмы машинного обучения, поэтому на нем реализован алгоритм искусственного интеллекта Random Forest.

Random Forest – метод машинного обучения, использующий «ансамбль деревьев» решений для задач классификации. Он использует Бэггинг (Bagging) и случайность признаков при построении каждого отдельного «дерева», чтобы создать некоррелированный «лес из деревьев», прогноз которого более точен, чем прогноз любого отдельного «дерева» (рис. 3).

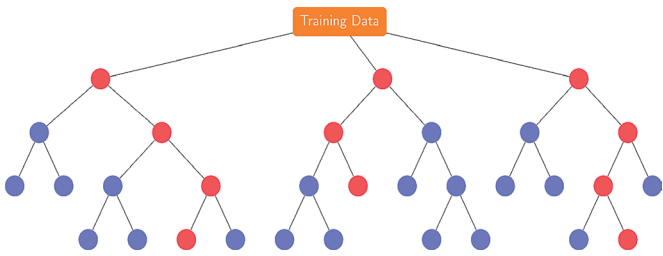


Рис. 3. Схема работы алгоритма искусственного интеллекта Random Forest

Алгоритм позволяет анализировать таблицы локальной базы данных и выдать на их основе быстрый прогноз по техническому состоянию машины. Реализация данного решения позволяет получить аналитику, не обращаясь к центральному серверу, где, в свою очередь, работает нейронная сеть. Это удобно и очень важно в тех случаях, когда нет доступа к сети Интернет или сигнал является недостаточным. На центральном сервере полученная информация сохраняется и масштабируется для корректного обучения и работы нейронной сети (см. таблицу).

В таблице отражены данные из бортовой системы трактора и их масштабированный вариант.

Основным алгоритмом машинного обучения, которое использует разработанное программное обеспечение на сервере, была выбрана нейронная сеть. Также для отдельных задач в программном комплексе на сервере реализован алгоритм машинного обучения Random Forest. Вычисление с помощью нейронной сети помогает найти решение в отдельных сложных ситуациях. Нейронная сеть требует, чтобы веса (коэффициенты приоритетов) нейронной сети были распределены между нейронами для вычисления результата. Поэтому одной из наиболее значимых задач в данном случае становится совершенствование математического аппарата, используемого для оценки контролируемых параметров систем техники.

Краткий алгоритм работы нейронной сети заключается в нескольких действиях:

1. Масштабирование данных, т.е. приведение их в диапазон значения от 0 до 1;
2. Обучение на основе математических функций нейронной сети.

Инициализация нейрона:

$$I_n = u_n \times w_n, \quad (1)$$

где I – состояние нейрона,
 u – входное значение,
 w – весовой коэффициент.

Сигмоидальная функция для активации нейрона:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}. \quad (2)$$

Функция обратного распространения:

$$\delta_{k-1} = w_{nk} \times \delta_k + w_{nk+1} \times \delta_{k+1}, \quad (3)$$

где δ_k – коэффициент смещения веса нейронной сети. Решение этих функций образует классическую модель

Базы данных с масштабируемыми показателями для нейронной сети

Расход топлива	Масштаб показателей	Температура охлаждающей жидкости	Масштаб показателей	Частота вращения коленчатого вала	Масштаб показателей
62,8	0,89	82	0,98	1976,75	0,98
66,8	0,98	77	0,92	896,25	0,44
66,8	0,98	77	0,92	897,5	0,44
70	1	76	0,91	1922,5	0,95
70	1	77	0,92	1942,25	0,96
68,8	0,98	78	0,93	1943,75	0,96
70	1	77	0,92	1942,25	0,96
68,8	0,98	78	0,93	1943,75	0,96
70	1	81	0,97	1955,5	0,97
68	0,97	82	0,98	1944,5	0,96
66,8	0,95	82	0,98	1976,5	0,98
62,8	0,89	82	0,98	891,75	0,44
64	0,91	82	0,98	898,5	0,44
66,8	0,98	77	0,92	896,25	0,44
66,8	0,98	77	0,92	897,5	0,44
70	1	76	0,91	1922,5	0,95
70	1	77	0,92	1942,25	0,96
68,8	0,98	78	0,93	1943,75	0,96
66,8	0,98	77	0,92	905,5	0,44
66,8	0,98	77	0,92	896,25	0,44
66,8	0,98	77	0,92	897,5	0,44
70	1	76	0,91	1922,5	0,95
70	1	77	0,92	1942,25	0,96
68,8	0,98	78	0,93	1943,75	0,96

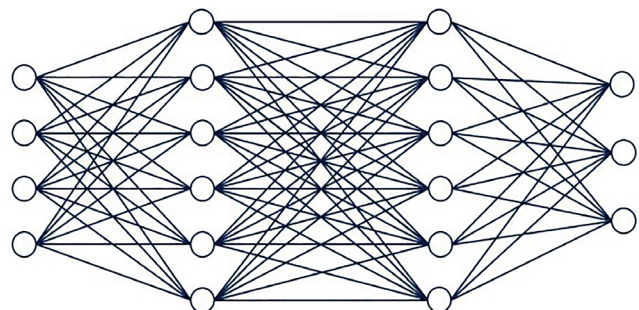


Рис. 4. Модель обучения

обучения нейронной сети, где есть входной слой, скрытые слои, где происходит обучение, и выходной слой, или просто результат работы нейронной сети. Функция обратного распространения отвечает за переучивание нейронной сети или служит для корреляции смещающих коэффициентов (рис. 4).

При разработке данной нейронной сети основная сложность заключалась в выборе значений, которые должны подаваться во входной слой нейронной сети, сколько их

должно быть и какие именно, а также корректный расчет получаемых результатов. Следует отдельно отметить, что для корректной работы данной сети требуется ее постоянная доработка и переобучение. Программное обеспечение и нейронная сеть образуют программный комплекс, который может быть установлен непосредственно на тракторную технику и в режиме реального времени отслеживать ее техническое состояние.

Выводы

1. Создан программный комплекс, который позволит увеличить точность диагностирования и прогнозирования неисправностей парка сельскохозяйственной техники посредством нейронной сети, а алгоритм Random Forest способен выдать предварительный анализ состояния технического средства даже без подключения к интернету.

2. По мере работы программного комплекса и накопления информации нейросеть будет совершенствоваться, точность прогнозов увеличиваться. С помощью ее рекомендаций появится возможность корректировать использование техники для увеличения ее надежности. На центральный сервер поступают данные со всего парка техники, что, в свою очередь, позволяет сэкономить существенное количество времени на ее диагностике.

3. Новые диагностические устройства на базе одно- и многоядерных и быстрых вычислительных модулей могут работать со сторонними датчиками и данными, которые поступают непосредственно из CAN-шины трактора.

4. Дальнейшая работа будет направлена на доработку искусственного интеллекта и создание Web-server для того, чтобы специалисты могли получать результаты работы программного комплекса с различных устройств, подключенных к сети Интернет, вне зависимости от местоположения.

Список использованных источников

1. Федоренко В.Ф., Таркинский В.Е. Цифровые беспроводные технологии для оценки показателей сельскохозяйственной техники // С.-х. машины и технологии. 2020. Т. 14. № 1. С. 10-15. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-1-10-15. EDN JCGGNG.
2. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства // С.-х. машины и технологии. 2021. Т. 15. № 4. С. 6-10. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10. EDN YFRZDV.
3. Катаев Ю.В., Тишанинов И.А., Градов Е.А. Бесконтактная диагностика двигателя трактора через CAN-интерфейс // Техника и оборудование для села. 2023. № 8(314). С. 36-39. DOI 10.33267/2072-9642-2023-8-36-39. EDN SZBRRI.
4. Петрищев Н.А., Костомахин М.Н., Саяпин А.С., Макаркин И.М. и др. Оперативная оценка предельного состояния узлов и агрегатов тракторов с применением счетчиков индикаторов // Технический сервис машин. 2021. Т. 59. № 3(144). С. 12-21. DOI: 10.22314/2618-8287-2021-59-3-12-21.
5. Ерохин М.Н., Дорохов А.С., Катаев Ю.В. Интеллектуальная система диагностирования параметров технического состояния сельскохозяйственной техники // Агроинженерия. 2021. № 2(102). С. 45-50. DOI 10.26897/2687-1149-2021-2-45-50. EDN RYZKCV.
6. Костомахин М.Н., Пестряков Е.В. Программный комплекс для дистанционного контроля узлов и агрегатов // С.-х. машины и технологии. 2022. Т. 16, № 4 С. 19-25. DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-4-19-25. EDN CLKZMK.
7. Таркинский В.Е., Трубицын Н.В., Воронин Е.С., Адуов М.А. Метод дистанционного контроля функциональных показателей сельскохозяйственной техники // Техника и оборудование для села. 2018. № 12. С. 22-25.
8. Башкирцев Ю.В., Голубев М.И., Голубев И.Г., Быков В.В. Цифровые решения в технологиях диагностирования машин. М.: РИААМ, 2020. 40 с. EDN QBGKRI.
9. Катаев Ю.В., Герасимов В.С., Тишанинов И.А. Использование систем бесконтактной диагностики при техническом обслуживании энергонасыщенной сельскохозяйственной техники // Технический сервис машин. 2022. № 2(147). С. 60-66.
10. Wanlu Jiang, Chenyang Wang, Jiayun Zou and Shuqing Zhang. Application of Deep Learning in Fault Diagnosis of Rotating Machinery. Processes. 2021. № 9. 919.
11. Jiang W., Wang C., Zou J., & Zhang S. Application of Deep Learning in Fault Diagnosis of Rotating Machinery. Processes. 2021. 9(6), 919. doi:10.3390/pr9060919.

Monitoring the Technical Condition of Energy-intensive Tractors Using Artificial Intelligence Algorithms

E.V. Pestryakov, Yu.V. Kataev, M.N. Kostomakhin,
N.A. Petrishchev, A.S. Sayapin
(FGBNU FNATS VIM)

Summary. The analysis is performed and proposals are presented to increase the level of technical maintenance, improve the testability and the crucial for functioning of the whole equipment parts of domestic energy-intensive machinery using artificial intelligence algorithms and new diagnostic devices. The growing role of artificial intelligence in diagnostics of the condition of agricultural equipment, accumulating huge data banks and processing large arrays of data in agriculture is considered.

Key words: technical condition, diagnostics, neural networks, counter-indicator, energy-intensive equipment, testability.



Зерноуборочный комбайн RSM 161: двухбарабанный, производительный, комфортный



Зерноуборочный комбайн Ростсельмаш RSM 161 с двухбарабанным молотильно-сепарирующим устройством оригинальной конструкции идеально вписывается в машинные парки сельхозпредприятий, которые сталкиваются в период страды с капризами погоды. Машина предназначена для уборки зерновых, бобовых, масличных, технических культур, включая трудновымолачиваемые. Мощности двигателя в 400 л.с. достаточно для работы на самых высокоурожайных фонах.

ЧИСТО ОТ ПОДАЧИ ДО ВЫГРУЗКИ

В наклонной камере нового поколения реализована функция изменения угла атаки, узел не нуждается в переоборудовании для уборки пропашных культур. За счет единого гидроразъема для подключения жатки или подборщика требуется минимум усилий и времени. Высокая грузоподъемность камеры позволяет агрегатировать машину с тяжелыми широкозахватными жатками, в том числе 12-рядковыми кукурузными. Электрогидравлическая система копирования рельефа дает возможность работать с высокой скоростью без потерь за жаткой на

недостаточно выровненных полях. Производитель предлагает для комбайна RSM 161 множество адаптеров: соевые, кукурузные, для уборки подсолнечника, зерновые шнековые и транспортерные.

Работать на самых капризных фонах, с самыми сложными в обмолоте культурами, включая люцерну и тритикале, позволяет технология Tetra Processor, реализованная через схему «молотильный барабан Ø 800 мм – промежуточный транспортерный бита – барабан-сепаратор Ø 750 мм + гибкое единое подбарабанье», которая позволяет выполнять настройки зазоров в широком диапазоне, вплоть до сброса деки под барабаном-сепаратором. С одной стороны, МСУ обеспечивает интенсивный

обмолот и первичную сепарацию, с другой (в том числе за счет самых больших в отрасли рабочих органов) – сохраняет способность обрабатывать ворох достаточно бережно.

Не меньшей универсальностью отличается двухка-
скадная система очистки OptiFlow площадью 7,1 м². Она обеспечивает поступление в бункер чистого продукта вне зависимости от степени загрязненности исходного зернового вороха. РСМ Система оценки возврата на домолот дает оператору актуальную информацию для дон-
стройки систем обмолота и очистки при необходимости, а автономное домолачивающее устройство роторного типа снимает вопросы перегрузки МСУ возвращаемым недомолоченным колосом. Небольшое количество оста-
точного зерна (как правило, не больше 5 % от исходного) эффективно выделяется из вороха на шестиклавишном
соломотрясе площадью 6,1 м².

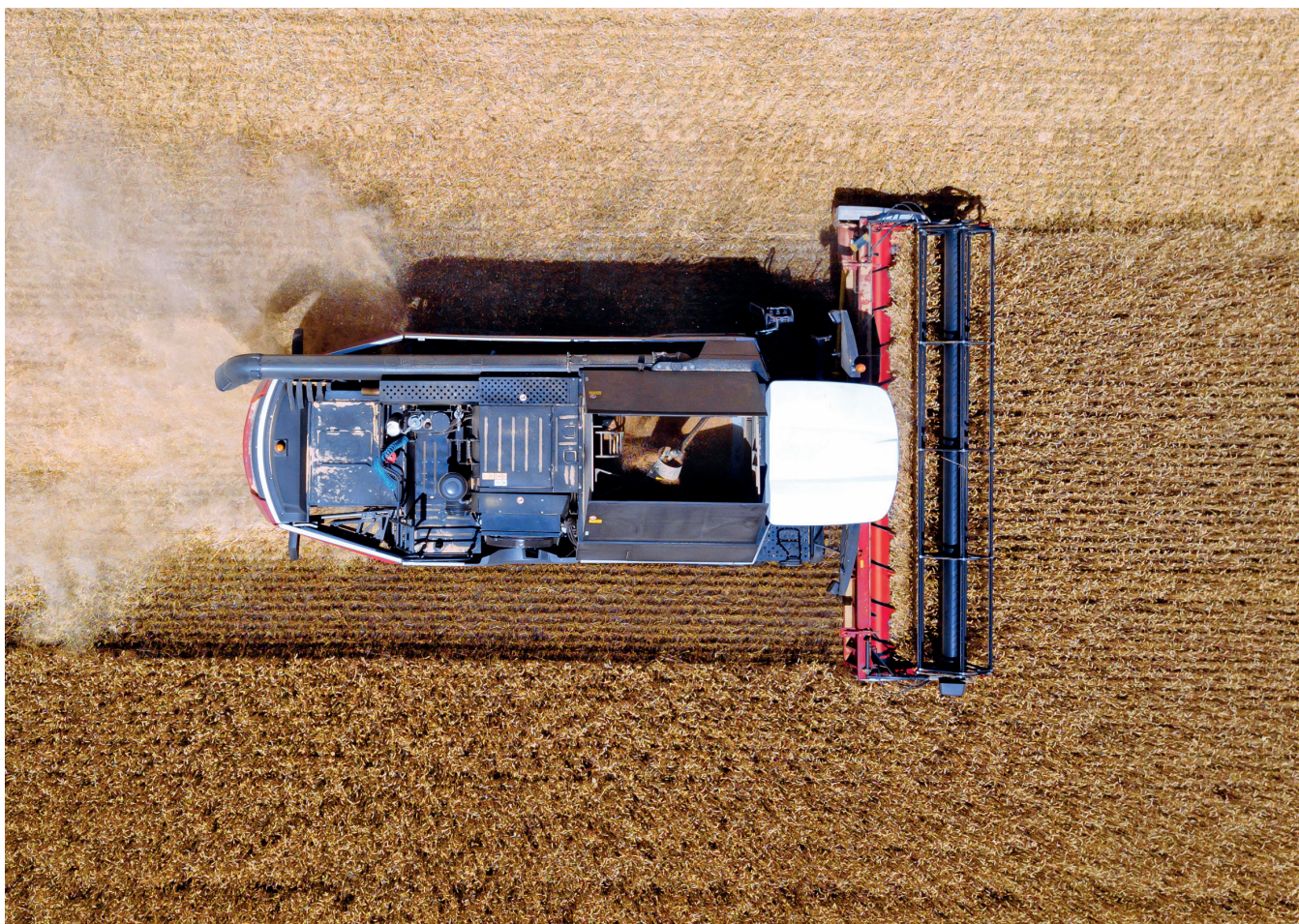
Бункер вместимостью 10 500 л укомплектован вибро-
побудителями и высокоскоростной системой выгрузки (110 л/с). Компонировка узла позволяет удобно выгружать зерно на ходу или стоянке в грузовой транспорт с высо-
той борта до 5 м даже при агрегатировании комбайна жатками шириной до 12 м. Работа выгрузного устройства не зависит от работы МСУ, и если приходится долго ждать
транспорт, молотилку можно отключить. Это позволяет
сберечь ресурс устройства и сэкономить топливо.

Комбайн одинаково хорошо справляется и с укладкой
соломы в валок, и с ее измельчением. Улучшенная по-
дача в валок облегчает последующий ее сбор, а двух-
скоростной измельчитель-разбрасыватель соломы с
управлением дефлекторами из кабины позволяет удобно
и легко изменять направление и ширину разбрасывания
незерновой части урожая.

КОМФОРТНО... ОЧЕНЬ

На зерноуборочный комбайн RSM 161 установлена ка-
бина Luxury Cab II с улучшенной вибро- и шумоизоляцией. В комплектацию включены по умолчанию климатическая
система, кресло оператора на пневмоподвеске и боль-
шое второе сиденье, зеркала заднего вида с электро-
регулировкой и обогревом, холодильный отсек увели-
ченной вместимости, бортовая информационно-голо-
совая система Adviser IV и платформа агроменеджмента
PCM Агротроник.

Комфортно не только управлять машиной, но и обслу-
живать ее. Помимо удобного доступа ко всем точкам
смазки и смены расходных материалов, производитель
оснастил комбайн RSM 161 централизованной системой
смазки и традиционно укомплектовал его пневмоком-
прессором с ресивером.



УДК 631.674

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-9-8-10

Нормативное обеспечение испытаний поливных машин и установок

Е.Е. Подольская,
науч. сотр., зав. лабораторией,
gost304@yandex.ru

Е.В. Бондаренко,
науч. сотр.,
Evgbond3190063@yandex.ru

В.Ю. Ревенко,
канд. техн. наук., вед. науч. сотр.,
skskniish@rambler.ru
(Новокубанский филиал
ФГБНУ «Росинформагротех» [КубНИИТиМ])

Аннотация. Анализируются действующие нормативные и методические документы, дан обзор основных положений нового проекта межгосударственного стандарта на методы испытаний поливных машин и установок. Особое внимание уделено актуальности создания межгосударственных стандартов для оценки сельскохозяйственной техники в странах СНГ. Результаты исследования демонстрируют преимущества использования современных систем полива.

Ключевые слова: стандарт, орошение, капельный полив, машина, установка, нормативное обеспечение, испытание.

Постановка проблемы

В современном сельском хозяйстве эффективное управление водоснабжением является ключевым фактором успешного ведения сельскохозяйственного производства. Использование поливных машин и установок обеспечивает ряд преимуществ, прежде всего, экономию воды. Системы полива позволяют максимально эффективно использовать воду, что особенно важно в условиях дефицита водных ресурсов. Правильное увлажнение почвы способствует более продуктивному росту растений и увеличению урожайности. Автоматизация процессов полива снижает потребность в ручном труде, а также затраты на его оплату и производство продукции в целом. Поливные машины и установки позволяют эффективно использовать даже малопродуктивные

земли, что расширяет возможности сельскохозяйственного производства.

В сельскохозяйственной практике важную роль играет эффективное использование поливных машин и установок. В соответствии с конкретными требованиями и условиями для орошения применяются разнообразные машины и оборудование. Для подтверждения качества и надежности работы таких систем проводятся испытания, регламентированные нормативной документацией. Особо актуальным в этих условиях становится создание межгосударственных стандартов, касающихся оценки сельскохозяйственной техники, применяемой в странах-участницах СНГ.

Методика проведения и подробное описание способов измерения функциональных характеристик поливных машин и систем регулируются только стандартом, разработанным Ассоциацией испытателей России. Однако данный стандарт не включает в себя ключевые виды оценок, выполняемых в процессе испытаний этой техники [1], поэтому проводимые работы по разработке межгосударственного стандарта на методы испытаний поливных машин и установок являются актуальной задачей на сегодняшний день.

Цель исследования – анализ действующих нормативно-методических документов, регламентирующих испытания поливных машин и установок.

Материалы и методы исследования

В качестве исходных материалов использовались действующие нормативные и методические документы в области испытаний поливных машин и установок, информация с веб-сайтов производителей оросительной техники и другие литературные источники.

Исследование проводилось с использованием аналитического, сравнительного и информационно-логического методов.

Существуют поливные машины и установки различных типов [2] для разных условий эксплуатации и культур. Например, дождевальные машины (стационарные, передвижные и самоходные) используются для создания искусственного дождя, равномерно увлажняющего почву. Капельные системы обеспечивают подачу воды непосредственно к корневой системе растений через специальные капельницы, экономят воду. Оросительные системы (стационарные, мобильные) включают в себя сеть каналов и трубопроводов, которые подают воду к полям. Фонтанные и разбрызгивающие установки используются для полива небольших участков или уклонных земель, где другие методы неэффективны.

Применение поливных машин и установок требует учета специфики выращиваемых культур и их потребности в воде. Кроме того, на выбор типа поливной системы и режим полива влияет климат региона. Для обеспечения надежности и долговечности поливных машин и установок необходимы регулярное техническое обслуживание и ремонт [3].

Основная цель испытаний поливных машин и установок – определение их технических характеристик, эффективности работы и соответствия требованиям безопасности. В процессе испытаний оцениваются показатели условий испытаний, равномерность распределения воды, ее расход и энергоёмкость, надежность работы механизмов, удобство управления и обслуживания, экологическая безопасность, экономические и эксплуатационно-технологические показатели. Все действия персонала, участвующего в испытаниях поливных машин и установок, должны быть задокументированы протоколами испытаний, актами, отчетами.

Испытания поливных машин и установок проводятся в несколько этапов. Подготовительный этап включает в себя

организацию места проведения испытаний, подготовку необходимого оборудования и инструментов, а также ознакомление с технической документацией на испытываемую технику. Испытания заключаются в проведении измерений, мониторинге работы поливных машин и установок на различных режимах. Результаты измерений фиксируются в протоколе испытаний. Анализ результатов – оценка полученных данных на соответствие установленным нормам и требованиям. При выявлении несоответствий разрабатываются рекомендации по устранению недостатков.

Каждый этап регулируется законодательными актами и стандартами, которые устанавливают общие принципы и методы проведения испытаний. Например, вопросы терминологии в области полива регулируются ГОСТ 26967, ГОСТ 27593, оценка функциональных показателей проводится по стандарту организации СТО АИСТ 11.3, аспекты безопасности освещают общие стандарты по безопасности сельскохозяйственной техники. Для проведения испытаний трубопроводов используют ГОСТ ИСО 9261, который идентичен международному одноименному стандарту и определяет технические условия для оросительных трубопроводов, а также описывает некоторые аспекты агротехнической оценки. С момента введения этих стандартов прошло почти 20 лет, что, учитывая возрастающее количество и эффективность использования оросительного оборудования, свидетельствует о необходимости обновления устаревших норм и создания нового межгосударственного стандарта, регулирующего процедуры испытаний оросительных машин и установок.

Результаты исследований и обсуждение

В рамках выполнения научно-исследовательских работ КубНИИТиМ проводит подготовку нового межгосударственного стандарта на методы испытаний поливных машин и оборудования в соответствии с процедурой и требованиями основных документов по стандартизации. Объектом работы является разработка проекта межгосударственного стандарта на методы испытаний машин и установок для полива

по бороздам, чекам, капельного полива и на вспомогательное оборудование (сифоны-водовыпуски, трубки-сифоны, гибкие поливные трубопроводы).

В 2024 г. подготовлена окончательная редакция проекта ГОСТ «Техника сельскохозяйственная. Машины и установки поливные. Методы испытаний», в котором сформирована номенклатура показателей, определяемых при агротехнической, энергетической, эксплуатационно-технологической и экономической оценках, оценке безопасности конструкции и надежности. Проект прошел процедуру обсуждения, получены отзывы и предложения от заинтересованных организаций, выполнен их анализ, внесены изменения в первую редакцию.

Документ включает в себя подробное описание методик определения основных показателей по всем предусмотренным видам оценок поливных машин, предлагаются ведомости для заполнения в процессе испытаний. Кроме того, для упрощения обработки результатов испытаний и соответствующих трудоемких расчетов подготовлена компьютерная программа в виде веб-приложения, автоматизирующая все расчеты, проводимые в процессе испытаний указанных машин. Она не требует локальной установки на компьютер, минимизирует возможные ошибки в трудоемких вычислениях. Доступ к ней возможен на сайте [4] с любого устройства.

В современных условиях вопросы замещения иностранной техники и программного обеспечения отечественными решениями имеют приоритетное значение. Например, машины и установки для поверхностного полива отечественного производства подразделяются на передвижные агрегаты (ППА) для полива по бороздам (хлопчатник) и чекам (рис). Системы капельного орошения обеспечивают влагой и питательными веществами каждое растение дозированно [5-6].

Вся поливная техника, ориентированная на работу в оросительных системах, предполагает автоматизированный режим работы, многоцелевое использование, применение компьютерных систем контроля, учета и управления, широкий диапазон модификаций и

опций, максимальный учет конкретных условий применения.

Оборудование для системы капельного полива включает в себя фильтрующую станцию, узел подготовки и внесения препаратов для подкормки, магистральные и распределительные трубопроводы, соединительную и запорную регулируемую арматуру, поливные трубопроводы с микроводовыпусками (капельницами), автоматизированные системы управления, контроля. В Российской Федерации в основном выпускаются капельные ленты с расходом капельниц 1,2 или 2 л/ч и шагом 0,3 м.

Комплекующие для систем капельного орошения производят:

- ЗАО «Центр Инноваций» (Владимирская область) и ООО «Угличский завод полимеров» (Ярославская область) – ленты капельного орошения с некомпенсированными встроенными водовыпусками и оборудование по литью фитингов;

- ООО «Завод Ортеко» (Москва) – фильтры гравийно-песчаные и фильтры-гидроциклоны;

- ООО «Агротехнологии» (Санкт-Петербург) – соединительные элементы для капельных лент Ø 16 мм, мягкий напорный рукав;

- ООО «АКВА-ВИТА» (Республика Крым), ООО «Деметра» (г. Ростов-на-Дону) – мягкий напорный рукав;

- Группа компаний ООО «Капельное орошение» (г. Таганрог) – ленты капельного орошения с некомпенсированными по давлению встроенными микроводовыпусками «РОСА» и «МИУС» лабиринтного и щелевого типов.

Полную линейку технологического оборудования с программным обеспечением для теплиц, включая тепличные комплексы, производит «Научно-производственная фирма «ФИТО» (Москва). В ООО «Полив мастер» освоен выпуск оборудования для укладки капельной ленты для сеялки с креплением к раме 100 и 150 мм. ЗАО «Новый век агротехнологий» и экспериментально-аналитический центр агробизнеса (АБ-Центр) производят капельную ленту с некомпенсированными микроводовыпусками «Neo-Drip».

Постепенно поливные машины и установки отечественного производ-

ства вытесняют импортную технику. Испытания на МИС показывают, что показатели их работы соответствуют нормативным требованиям и превосходят импортные аналоги.

Экономическая эффективность поливных машин обеспечивается путем повышения их удельной производительности и качества выполнения технологических процессов, экономии воды, удобрений, электроэнергии, топлива, реконструкции и эксплуатации оросительных систем с использованием техники орошения нового поколения.

Повышение экологической безопасности достигается внедрением новых технологий полива, включая систему коротких борозд с оптимальным алгоритмом управления, которая подразумевает поперечную и продольную схемы подачи воды с дискретным регулированием ее распределения. Совмещение нескольких операций при использовании поливной техники позволяет минимизировать уплотнение почвы, обеспечить более равномерное и высокое качество внесения органических и минеральных удобрений, а также химических и других веществ, которые подаются вместе с поливной водой без ее смыва и загрязнения окружающей среды. При этом гербициды и пестициды проникают на небольшую глубину (до 10 см) и не попадают в подземные воды.

Внедрение инновационных технологий и оборудования для полива направлено на создание комплексного подхода к решению задач, связанных с повышением технического уровня, экономической эффективности, экологической безопасности и улучшением условий труда. Только через систематическое объединение научных, практических и образовательных усилий возможно достижение фундаментального решения проблем, связанных с разработкой и массовым внедрением энергоэффективного, экологически чистого оросительного оборудования нового поколения. Обеспечение сельского хозяйства современной конкурентоспособной поливной техникой способствует снижению зависимости от импорта и укреплению продовольственной безопасности нации.

Выводы

1. Использование поливных машин и установок в сельском хозяйстве является эффективным способом повышения урожайности и экономии водных ресурсов. Выбор подходящей системы полива зависит от множества факторов, включая тип культуры, климатические условия и экономические возможности хозяйства. Правильное использование и обслуживание поливных машин и установок позволяет максимально использовать их потенциал для обеспечения продовольственной безопасности и устойчивого развития аграрного сектора.

2. Нормативное обеспечение испытаний поливных машин и установок является важным элементом контроля качества и безопасности сельскохозяйственной техники. Соответствие результатов испытаний установленным нормам и стандартам гарантирует эффективность и надежность работы поливных систем, что, в свою очередь, обеспечивает высокую урожайность сельскохозяйственных культур и экономическую эффективность производства.

3. В сфере испытаний сельскохозяйственной техники государственных участников СНГ отсутствует унифицированный нормативный документ, регулирующий оценку машин и установок для различных методов полива (борозд, чеков, капельного) и вспомогательного оборудования, что затрудняет процесс проведения испытаний. В связи с растущим использованием таких машин и установок создание стандарта, устанавливающего правила проведения испытаний, является критически важной задачей.

4. Внедрение единого межгосударственного стандарта, определяющего методы испытаний оросительных машин и оборудования, а также соответствующего программного обеспечения, повысит точность результатов испыта-

ний, снизит трудозатраты на выполнение расчетов и уменьшит вероятность ошибок в вычислениях.

Список

использованных источников

1. Подольская Е.Е., Бондаренко Е.В., Таркинский В.Е. Использование современных поливных машин и установок // Техника и оборудование для села. 2023. № 7 (313). С. 14-17.
2. Ольгаренко Г.В., Алдошкин А.А., Турапин С.С., Мищенко Н.А. Стационарно-сезонные оросительные комплексы и их применение в сельскохозяйственном производстве Российской Федерации: науч. издание. Коломна: ИП Воробьев О.М., 2019. 178 с.
3. Подольская Е.Е., Марченко В.О., Юзенко Ю.А. Новый стандарт для оценки поливных машин и установок // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: матер. XV Междунар. науч.-практ. Интернет-конф. «ИнформАгро-2023». М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. С. 887-893.
4. КубНИИТиМ [Электронный ресурс]. URL: <https://kubniitim.ru/> (дата обращения: 15.05.2024).
5. Ресурсосберегающие энергоэффективные экологически безопасные технологии и технические средства орошения: справ. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. 264 с.
6. Щедрин В.Н. Выбор и оценка технологического орошения / В.Н. Щедрин, А.А. Бурдун, С.М. Васильев. // Эколого-мелиоративные аспекты научно-производственного обеспечения АПК. М.: Современные тетради, 2005. С. 450-456.

Regulatory Support for Testing Irrigation Machines and Equipment

E.E. Podolskaya, E.V. Bondarenko, V.Yu. Revenko

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

Summary. The current regulatory and methodological documents are analyzed, the main provisions of the new draft interstate standard for testing methods of irrigation machines and installations are given. Particular attention is paid to the relevance of creating interstate standards for assessing agricultural machinery in the CIS countries. The results of the study demonstrate the advantages of using modern irrigation systems.

Key words: standard, irrigation, drip irrigation, machine, equipment, regulatory support, testing.





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
СЕЛЬХОЗ-
ПРОДУКЦИИ

Бесплатный билет
YUGAGRO.ORG



ОРГАНИЗАТОР
ORGANISER

0+

Генеральный партнёр **РОСТСЕЛЬМАШ**

Генеральный спонсор **РОСАГРОТРЕЙД**

Стратегический спонсор **Мировая техника**

Официальный партнёр **ЩЕЛКОВО АГРОХИМ**

Официальный спонсор **16**

Спонсор деловой программы **Агро Эксперт Групп**

Спонсор информационных стоек **BDA CAPITAL, LLC**

Спонсоры выставки **syngenta**

20 ШАНС

Zemlyakoff



УДК 631.319.4

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-9-12-16

Результаты экспериментальных исследований дискового рабочего органа в почвенном канале

Ф.Ф. Яруллин,канд. техн. наук, доц.,
fanis4444@mail.ru**Р.И. Ибятков,**д-р техн. наук, проф.,
r.ibjatov@mail.ru**Р.Ф. Абдуллин,**магистр,
rustam-abdullin-2000@mail.ru**А.А. Хазиев,**аспирант,
khaziev.aubylat@gmail.ru
(ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ»)

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований ротационного дискового почвообрабатывающего рабочего органа в почвенном канале, в ходе которых выявлены зависимости тягового сопротивления дискового рабочего органа от угла атаки, угла наклона оси вращения к горизонту и глубины обработки почвы. Определены оптимальные значения угла атаки и угла наклона оси вращения к горизонту, которые обеспечивают минимальное тяговое сопротивление.

Ключевые слова: дисковый рабочий орган, обработка почвы, почвенный канал, тяговое сопротивление, тензометрирование.

Постановка проблемы

Традиционные системы обработки почвы формировались на протяжении веков, решая задачи улучшения ее физических свойств и обеспечения подходящей среды для прорастания семян и роста корней, минимизации водной и ветровой эрозии, воздействия вредителей, а также управления распределением и скоростью инфильтрации воды [1-3]. Поверхностная обработка является частью методов обработки почвы и выполняется только на верхней ее части с целью уменьшения неблагоприятного воздействия растительных остатков и внесения удобрений [4-6].

Обработка почвы – один из важных этапов сельскохозяйственного процесса, который направлен на улучшение ее физических, химических и биологических качеств, повышение плодородности. Почва является не только средой обитания для растений, но и источником питательных веществ, необходимых для их роста и развития.

Физические характеристики почвы, такие как структура и проницаемость, имеют существенное влияние на процессы взаимодействия с водой и воздухом. Химические свойства определяют плодородие почвы и её способ-

ность удерживать и переносить растениям необходимые питательные элементы. Биологический аспект обработки почвы направлен на регулирование микробиологической активности, где ключевую роль играют различные группы микроорганизмов.

Исходя из анализа имеющихся конструкций сельскохозяйственных машин, и с учетом их недостатков разработан усовершенствованный ротационный дисковый рабочий орган для обработки почвы [7, 8].

Цель исследования – выявление связи между тяговым сопротивлением дискового рабочего органа, углом атаки и углом наклона оси вращения к горизонту при различных значениях глубины обработки почвы. Определение оптимальных значений этих углов, способствующих снижению тягового сопротивления.

Материалы и методы исследования

Объект исследования характеризуется определенными совокупностями входных и выходных данных. Его можно представить в виде схемы, где X – вектор входных переменных, которые поддаются контролю и управлению; Z – вектор входных переменных, которые поддаются контролю, но не управлению; E – вектор входных параметров, которые не поддаются ни контролю, ни управлению; Y – вектор выходных показателей (реакций) исследуемой системы (рис. 1).

Для установления связи между указанными векторами и отдельными параметрами, описывающими состояние системы «орудие-почва», необходимо определить факторное пространство эксперимента. При исследовании работы рабочих органов сельскохозяйственных машин основное внимание уделялось следующим параметрам: сопротивление перемещению рабочего органа в слое почвы, возможные скорости работы с данным рабочим органом, глубина обработки почвы, характеристики почвенного слоя и настройки рабочего органа. Основные факторы эксперимента представлены в табл. 1.

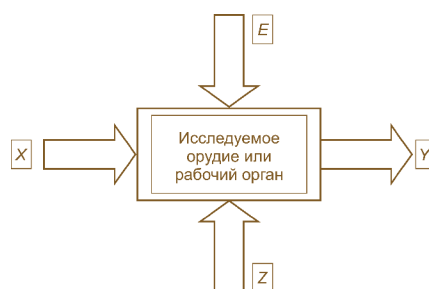


Рис. 1. Схема представления объекта экспериментального исследования – сельскохозяйственного орудия

Таблица 1. Векторы факторного пространства для исследования характеристик конического рабочего органа

Факторы	Векторы
$F_{\text{тяг}}$ – тяговое сопротивление	Y
α – угол атаки орудия	X
V – скорость движения орудия	
a – глубина обработки почвы	
β – угол наклона оси вращения	
Механические свойства почвы (ρ – плотность, ψ – влажность и др.)	
Параметры технического состояния исследовательской установки (характеристики тягового звена, механические характеристики тензостойки)	Z
Микроклиматические условия проведения эксперимента ($P_{\text{атм}}$ – атмосферное давление, $T_{\text{пом}}$ – температура в помещении, $W_{\text{возд}}$ – влажность воздуха)	
Ошибки исследователя	
Методология измерений	E
Параметры измерительного оборудования (основная приведенная погрешность АЦП, отклонение чувствительности тензорезисторов и др.)	

Таблица 2. Физические и кодированные уровни факторов эксперимента

Фактор	Физические уровни			Кодированные уровни		
Глубина обработки почвы, см	4	6	8	-1	0	1
Скорость движения рабочего органа, м/с	3	4	5	-1	0	1
Угол атаки орудия	60°	75°	90°	-1	0	1
Угол наклона оси вращения	70°	80°	90°	-1	0	1

Таблица 3. Матрица планирования эксперимента

Номер опыта	Тяговое усилие	Глубина обработки почвы			Угол атаки орудия	Угол наклона оси вращения
1	1	-1	0	1	-1	-1
2	1	-1	0	1	-1	0
3	1	-1	0	1	-1	1
4	1	-1	0	1	0	-1
5	1	-1	0	1	0	0
6	1	-1	0	1	0	1
7	1	-1	0	1	1	-1
8	1	-1	0	1	1	0
9	1	-1	0	1	1	1

Первым этапом в разработке плана эксперимента стало определение диапазона значений факторов вектора X. Уровни изменения каждого фактора в этом диапазоне называются уровнями изменения фактора [9]. Для факторов вектора X, указанных в табл. 1, были предварительно выбраны физические и закодированные уровни варьирования (табл. 2). В данном эксперименте механические

свойства почвы были заданы только одним уровнем изменения, что привело к их исключению из факторного пространства.

Для выяснения требуемого числа параллельных экспериментов предварительно установим заданную относительную погрешность измерения $\varepsilon_{\text{дон}} = 1,5\%$ и обычную для инженерных задач доверительную вероятность $P = 95\%$. Минимальное необходимое количество параллельных экспериментов можно рассчитать по формуле

$$N \geq (U_a = P/2/\varepsilon_{\text{дон}})^2,$$

где $U_a = P/2$ – значение критерия Стьюдента для доверительной вероятности $P/2$.

Имеем $(1,96/1,5)2 \approx 1,71$. Для обеспечения повторяемости эксперимента было решено проводить три параллельных опыта вместо двух, чтобы учесть возможные аномалии в реакции рабочего органа и особенности технологического процесса в почвенных условиях. Это необходимо для надежных результатов и исключения влияния факторов.

Создание матрицы полнофакторного эксперимента требует значительных усилий и ресурсов из-за большого числа необходимых опытов и их повторений для параллельных исследований, поэтому было принято решение о проведении дробного факторного эксперимента и разработана матрица планирования экспериментов (табл. 3).

Для оценки реакции системы на силы изгиба и сжатия-растяжения использовался метод тензометрирования для измерения деформации [10]. Для исключения влияния деформаций изгиба при измерении деформации от сжатия и растяжения, а также наоборот тензорезистивные элементы были расположены специальным образом. Датчики напряжения для измерения изгиба устанавливались в перпендикулярных плоскостях. Схемы размещения тензорезисторов для измерения изгиба и сжатия-растяжения приведены на рис. 2, где P_u – сила изгиба, Н; P_{c-p} – сила сжатия или растяжения, Н; $T1, T2, T3, T4$ – тензорезистивные элементы.

Тензорезисторы по обеим схемам включались в режиме полного моста (рис. 3). Для схемы полного моста с четырьмя активными тензорезисторами имеем [11]:

для схемы по рис. 2а:

$$U_{\text{изм}} = U_{\text{num}} \Delta R_u = U S, \quad (1)$$

$$U_{\text{изм}} = U_{\text{num}} \frac{\Delta R_u}{R} = U_{\text{num}} S \varepsilon; \quad (2)$$

для схемы по рис. 2б:

$$U_{\text{изм}} = U_{\text{num}} \frac{1 + \mu}{2} \frac{\Delta R_{p-cж}}{R} = U_{\text{num}} \frac{1 + \mu}{2} S \varepsilon, \quad (3)$$

где $R = R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ – номинальное сопротивление тензорезистора, Ом;

ΔR_u – изменение сопротивления тензорезисторов, работающих на изгиб, Ом;

$\Delta R_{p-cж}$ – изменение сопротивления тензорезисторов, работающих на сжатие или растяжение, Ом;

$U_{\text{изм}}, U_{\text{num}}$ – напряжение на измерительной и питающей диагоналях моста соответственно, В;

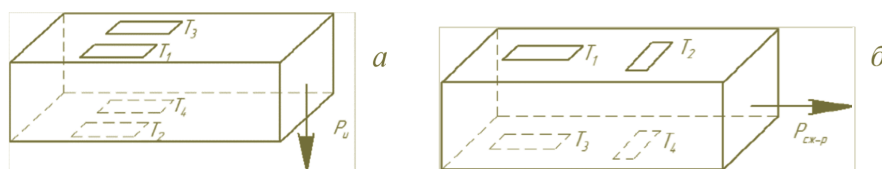


Рис. 2. Схема аппликации тензорезисторов:

а – для определения деформации изгиба без влияния деформации сжатия-растяжения;
б – для определения деформации сжатия-растяжения без влияния деформации изгиба

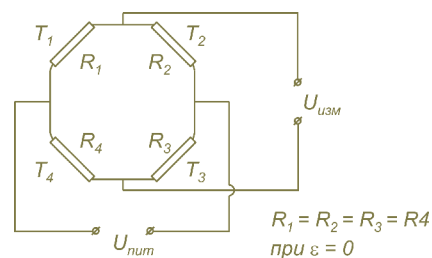


Рис. 3. Схема электрического подключения тензорезисторов

μ – коэффициент Пуассона;

S – коэффициент чувствительности тензорезистора;

ε – относительная деформация.

С учетом предварительного расчета предполагаемой деформации тензорезистивной балки для проведения экспериментального исследования выбраны фольговые

константанные тензорезисторы КФ5П1-15-200. Питание тензорезистивных мостов и сбор информации от измерительных диагоналей осуществлялся с помощью станции сбора данных ИП-264 с модулем согласования МС-5. Структурная схема измерительно-информационной системы (ИИС) представлена на рис. 4, изображения реализации данной структуры ИИС на базе почвенного канала Казанского ГАУ – на рис. 5 и 6.

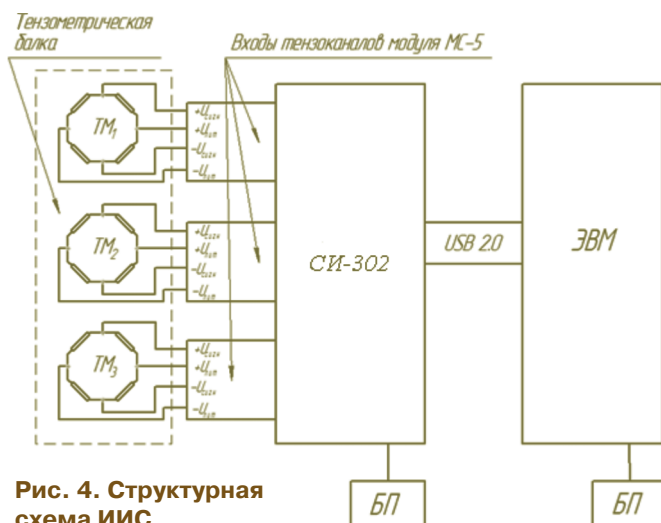


Рис. 4. Структурная схема ИИС

Результаты исследований и обсуждение

Тарировка тензометрических мостов проводилась в соответствии с методикой, описанной в руководстве по эксплуатации ИИС СИ-302 совместно с коллективом ИИС. После проведения активного эксперимента, включающего в себя одновременное изменение всех факторов, влияющих на работу конического рабочего органа, проведены анализ и обсуждение результатов. В качестве независимых переменных выступают угол атаки α , угол наклона оси вращения к горизонту β и глубина обработки почвы a , значениями отклика – тяговое усилие $F_{тяг}$. Оптимизация углов α и β направлена на минимизацию тягового усилия.

Необходимо определить, какие функциональные связи существуют между тяговым усилием $F_{тяг}$ дискового рабо-



Рис. 5. Почвенный канал Казанского ГАУ

1 – электродвигатель; 2 – редуктор; 3 – барабан;
4 – частотный преобразователь; 5 – тележка;
6 – тензометрическая балка; 7 – трос

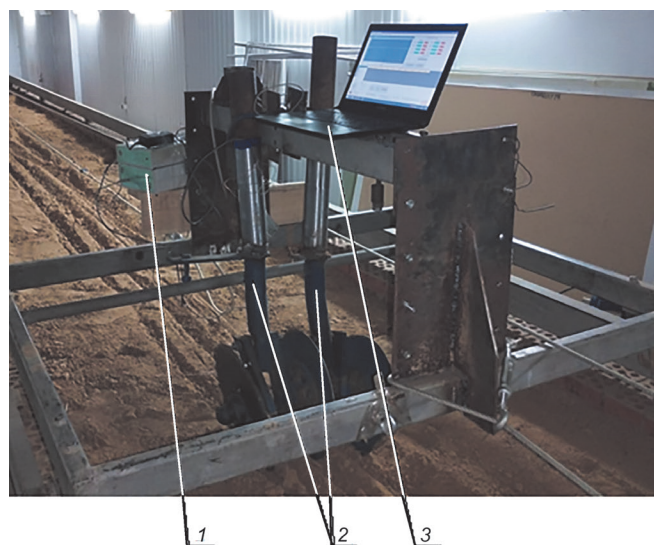


Рис. 6. Экспериментальная установка:

1 – измерительная система ИИС СИ-302;
2 – рабочий орган; 3 – ноутбук

чего органа и конструктивными параметрами α и β при различных значениях глубины обработки a .

$$F_{\text{ТЯГ}} = \varphi(\alpha, \beta).$$

С учетом нелинейности искомых функциональных зависимостей был выбран следующий вид уравнений регрессии:

$$F_{\text{ТЯГ}} = b_0 + b_1\alpha + b_2\beta + b_{12}\alpha\beta + b_{11}\alpha^2 + b_{22}\beta^2;$$

$$\omega = c_0 + c_1\alpha + c_2\beta + c_{12}\alpha\beta + c_{11}\alpha^2 + c_{22}\beta^2.$$

Для определения коэффициентов регрессии реализован полнофакторный эксперимент при различных значениях глубины обработки a (табл. 4). По результатам проведенных экспериментов были построены уравнения регрессии для тягового усилия $F_{\text{ТЯГ}}$.

Таблица 4. Результаты экспериментов при различных значениях глубины обработки a

Номер опыта	α , град.	β , град.	$F_{\text{ТЯГ}}$, кН		
			при $a = 4$ см	при $a = 6$ см	при $a = 8$ см
1	20	20	38,3357	45,7352	75,53429
2	20	30	25,2172	35,0122	55,0265
3	20	40	26,5664	36,7161	56,9164
4	35	20	31,2706	41,5177	61,3106
5	35	30	59,28347	69,57365	89,53258
6	35	40	28,2986	38,2987	58,1887
7	50	20	61,22543	72,11573	90,22553
8	50	30	28,7501	38,7512	58,3501
9	50	40	50,0474	68,0424	75,0586

Графические образы изменения тягового усилия при разных значениях углов наклона α и β визуально подтверждают адекватность результатов вычислений (рис. 7). Оптимальные значения $F_{\text{ТЯГ}}$ обеспечиваются при наибольших значениях β и наименьших значениях α .

Зависимость тягового усилия $F_{\text{ТЯГ}}$ от углов α и β при различных значениях глубины обработки:

для $a = 4$ см

$$F_{\text{ТЯГ}} = 29,33 + 1,84\alpha - 1,53\beta - 0,02\alpha^2 + 0,0036\alpha\beta + 0,0164\beta^2; \quad (4)$$

для $a = 6$ см

$$F_{\text{ТЯГ}} = 178,88 - 2,23\alpha - 5,15\beta + 0,01\alpha^2 + 0,045\alpha\beta + 0,044\beta^2; \quad (5)$$

для $a = 8$ см

$$F_{\text{ТЯГ}} = 78,25 + 1,35\alpha - 1,945\beta - 0,0157\alpha^2 + 0,0048\alpha\beta + 0,0199\beta^2. \quad (6)$$

Уравнения регрессии (4)-(6) представляют собой математическую модель дискового рабочего органа, позволяют рассчитать технологические параметры тягового усилия $F_{\text{ТЯГ}}$ при заданных значениях углов α и β , что помогает определить оптимальные параметры конструкции α и β . Для более детального изучения функциональных зависимостей были построены их графические представления.

Полученные уравнения регрессии представляют собой уравнения поверхностей второго порядка. Как известно, для наличия экстремума должно выполняться условие

$$\Delta = \frac{d^2F}{d\alpha^2} \cdot \frac{d^2F}{d\beta^2} - \left(\frac{d^2F}{d\alpha d\beta} \right)^2 > 0.$$

Вычислим частные производные функции (7), которые получены для случая $a = 4$ см.

$$F_{\text{ТЯГ}} = 29,33 + 1,84\alpha - 1,53\beta - 0,02\alpha^2 + 0,0036\alpha\beta + 0,0164\beta^2, \quad (7)$$

$$F'_{\alpha} = 1,84 + 0,04\alpha + 0,36\beta, \quad (8)$$

$$F''_{\alpha\alpha} = -0,04 \quad (9)$$

$$F''_{\alpha\beta} = 0,0036, \quad (10)$$

$$F'_{\beta} = -1,53 + 0,0036\alpha + 0,32\beta, \quad (11)$$

$$F''_{\beta\beta} = 0,032, \quad (12)$$

$$F''_{\beta\alpha} = 0,0036. \quad (13)$$

Отсюда получаем, что $\Delta = -0,00129$, следовательно, функция (7) не имеет классического экстремума.

Аналогично вычислим частные производные функции для $a = 6$ см.

$$F_{\text{ТЯГ}} = 178,88 - 2,23\alpha - 5,15\beta + 0,01\alpha^2 + 0,045\alpha\beta + 0,044\beta^2, \quad (14)$$

$$F'_{\alpha} = -2,23 + 0,02\alpha + 0,045\beta, \quad (15)$$

$$F''_{\alpha\alpha} = 0,02, \quad (16)$$

$$F''_{\alpha\beta} = 0,0045, \quad (17)$$

$$F'_{\beta} = -5,15 + 0,045\alpha + 0,088\beta, \quad (18)$$

$$F''_{\beta\beta} = 0,088. \quad (19)$$

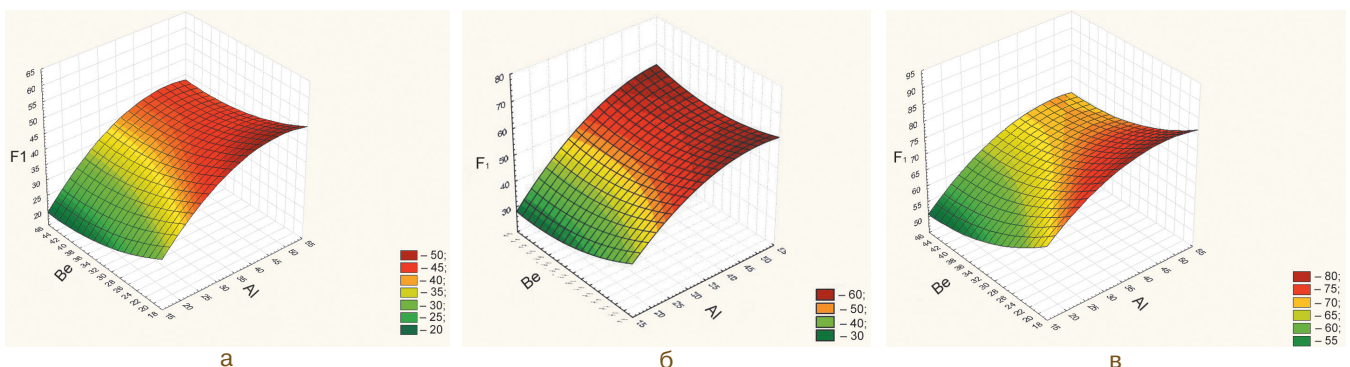


Рис. 7. Зависимость тягового усилия $F_{\text{ТЯГ}}$ от углов α и β при различных значениях глубины обработки: а – при $a = 4$ см; б – при $a = 6$ см; в – при $a = 8$ см

Отсюда $\Delta = -0,000265$, следовательно, экстремум отсутствует.

Аналогично вычислим частные производные функции для $a = 8$ см

$$F_{\text{тяг}} = 78,25 + 1,35\alpha - 1,945\beta - 0,0157\alpha^2 + 0,0048\alpha\beta + 0,0199\beta^2, \quad (20)$$

$$F'_{\alpha} = 1,35 - 0,0314\alpha + 0,0048\beta, \quad (21)$$

$$F''_{\alpha\alpha} = -0,0314, \quad (22)$$

$$F''_{\alpha\beta} = 0,0048, \quad (23)$$

$$F'_{\beta} = -1,945 + 0,0048\alpha + 0,0398\beta, \quad (24)$$

$$F''_{\beta\beta} = -0,0398. \quad (25)$$

Тогда $\Delta = -0,00127$, следовательно, экстремум отсутствует.

Для изучения поведения функциональных зависимостей, полученных в результате исследования, были созданы их визуальные представления в виде графиков (см. рис 7). Формы построенных поверхностей согласуются с полученными выводами. Минимальное значение исследуемых функций вычислим численно на заданной области в виде задачи: найти $\min F(\alpha\beta)$ при условиях $15^\circ \leq \alpha \leq 55^\circ$, $15^\circ \leq \beta \leq 45^\circ$.

После решения задачи оптимизации были получены следующие результаты. Для глубины обработки $a = 4$ см минимальное значение тягового усилия составляет $F_{\text{тяг}} = 18,41$ Н. Оно достигается при $\alpha = 15^\circ$; $\beta = 45^\circ$; . При глубине обработки 6 см $\min F_{\text{тяг}} = 35,4$ Н; $\alpha = 15^\circ$; $\beta = 45^\circ$; для 8 см получено $\min F(15^\circ 45^\circ) = 50,98$ Н.

Выводы

1. Изменение угла наклона и радиуса конуса влияет на характеристики работы рабочего органа, их оптимальные значения определяются с учетом взаимосвязи углов α и β . Понимание этих закономерностей позволяет улучшить процесс обработки почвы и повысить эффективность использования сельскохозяйственной техники.

2. Полученные данные правильно и точно отражают реальность и происходящие процессы. Количественные оценки зависят от геометрии дискового рабочего органа. Изменение угла наклона и радиуса рабочего органа не влияет на основные закономерности, однако специфические значения оптимальных углов α и β изменяются. Основанные на взаимосвязи углов α и β показатели тягового усилия $F_{\text{тяг}}$ важны для расчетов дискового рабочего органа.

3. Эксперименты демонстрируют, что дисковый рабочий орган способен обеспечить равномерную глубину обработки почвы, минимизируя потери урожая и повышая эффективность работы сельхозмашин. Такие исследования важны для специалистов и производителей техники и оборудования.

4. Результаты экспериментальных исследований подтверждают эффективность и надежность дискового рабочего органа при обработке почвы, значительно улучшив производительность и качество работы, а также позволяют выделить направления для дальнейших исследовательских работ и технологических инноваций.

Список использованных источников

1. Обоснование оптимального уровня эксплуатации тракторов в аграрном производстве / Р.К. Хусаинов, И.Г. Галиев, Ф.З. Габдрафиков [и др.] // Вест. Казанского ГАУ. 2019. Т. 14. № 4-2(56). С. 91-95. DOI 10.12737/2073-0462-2020-14-4-91-95. EDN UHKMEQ.
2. Галиев И.Г. Определение весомости технологических операций и уровня расхода ресурса агрегатов и систем трактора / И.Г. Галиев, Р.К. Хусаинов // Вест. Казанского ГАУ. 2012. Т. 7. № 3(25). С. 74-77. EDN PDTOCV.
3. Калимуллин М.Н. Совершенствование технологии возделывания картофеля / М.Н. Калимуллин, Р.К. Абдрахманов, И.Г. Галиев // Техника и оборудование для села. 2017. № 4. С. 6-9. EDN YQGARL.
4. Justification of the optimal annual load on the tractor providing for its parameters stress on the formed crop / K.A. Khafizov, R.N. Khafizov, A.A. Nurmiev, I.G. Galiev // Bio web of conferences : International Scientific-Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources" (FIES 2019), Kazan, 13-14 ноября 2019 г. EDP Sciences: EDP Sciences, 2020. DOI 10.1051/bioconf/20201700022. EDN YFDNVZ.
5. Результаты полевых исследований почвообрабатывающего орудия с эллипсовидными дисками / Ф.Ф. Яруллин, Р.И. Ибяттов, С.М. Яхин, Р.Х. Гайнутдинов // Вест. Казанского ГАУ. 2019. Т. 14. № 2(53). С. 123-127. DOI 10.12737/article_5d3e17361cada0.88786874. EDN XKJEZP.
6. Валиев А.Р. Определение оптимальных параметров взаимного расположения конических рабочих органов на раме почвообрабатывающего орудия / А.Р. Валиев, Ф.Ф. Яруллин // Вест. Казанского ГАУ. 2012. Т. 7. № 3(25). С. 68-73. EDN PDTOCL.
7. Валиев А.Р. Исследование взаимодействия ротационного конического рабочего органа с почвой / А.Р. Валиев, Ф.Ф. Яруллин // Техника и оборудование для села. 2015. № 10. С. 27-30. EDN UQFKNP.
8. Кинематический анализ и обоснование параметров спирально-винтового рабочего органа почвообрабатывающей машины / Л.М. Нуриев, С.М. Яхин [и др.] // Вест. Казанского ГАУ. 2020. Т. 15. № 2(58). С. 114-119. DOI 10.12737/2073-0462-2020-114-119. EDN GVIXOS.
9. Кинематика игольчатого эллипсовидного диска ротационно-почвообрабатывающего орудия / С.М. Яхин, И.И. Алиакберов, Л.М. Нуриев [и др.] // Техника и оборудование для села. 2020. № 2(272). С. 12-15. DOI 10.33267/2072-9642-2020-2-12-15. EDN WJAHZZ.
10. Results of experimental research of conical rotary loosener in soil canal / I. Mukhametshin, A. Valiev, M. Kalimullin [et al.] // Engineering for Rural Development : 20, Virtual, Jelgava, 26-28 мая 2021 г. Virtual, Jelgava, 2021. P. 1046-1050. DOI 10.22616/ERDev.2021.20.TF229. EDN OZAAGD.
11. Результаты экспериментальных исследований ротационно-конического рабочего органа в почвенном канале / А.Р. Валиев, Р.И. Ибяттов, Р.Р. Шириязданов, Ф.Ф. Яруллин // Вест. Казанского ГАУ. 2014. Т. 9. № 3(33). С. 78-85. DOI 10.12737/7153. EDN TCDBQD.

Results of Experimental Studies of a Disk Working Body in a Soil Channel

F.F. Yarullin, R.I. Ibyatov, R.F. Abdullin, A.A. Khaziev
(Kazan State Agrarian University)

Summary. The article presents the results of experimental studies of a rotary disk soil-cultivating working body in a soil channel which revealed the dependences of the draught resistance of the disk working body on the angle of attack, the angle of inclination of the axis of rotation to the horizon and the depth of soil cultivation. The optimal (providing minimum draught resistance) values of the angle of attack and the angle of inclination of the axis of rotation to the horizon were determined.

Key words: disk working body, soil cultivation, soil channel, draught resistance, strain measurement.

УДК 635.21:631.589.2

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-9-17-22

Технологии ускоренного размножения исходного семенного материала из *in vitro* микрорастений на биотехнологическом модуле АГМ-60

О.С. Хутинаев,канд. с.-х. наук, вед. науч. сотр.,
okosk@mail.ru**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
(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.manokhina@rgau-msha.ru
(ФГБОУ ВО «РГАУ – МСХА
имени К.А. Тимирязева»)

Постановка проблемы

Основной задачей современных семеноводческих предприятий является обеспеченность их исходным семенным материалом в необходимых объемах [1]. Технология оздоровления в оригинальном семеноводстве картофеля в основном базируется на традиционном выращивании растений в закрытом грунте [2]. Однако такой способ требует значительных затрат и не позволяет выращивать продукцию в больших объемах из-за трудоемкости и высокой стоимости технологии. Использование почвы не исключает риск вторичного заражения материала, а в случае обнаружения инфекции весь материал выбраковывается. Возникает вопрос повышения технологичности и эффективности производства высококачественного посадочного материала в достаточных объемах, но с более низкой себестоимостью.

Традиционное производство мини-клубней занимает огромные площади и требует больших запасов воды, использования значительного количества минеральных удобрений, средств защиты, вложения трудовых и финансовых ресурсов. Проблема рационального использования ресурсов вынуждает производителей развигать более эффективные способы производства в условиях защищенного грунта и с помощью альтернативных технологий [2].

Опыт выращивания мини-клубней по традиционной технологии показал, что без строгого соблюдения надлежащих условий контролируемой среды существует высокая вероятность распространения вирусных, бактериальных и грибковых болез-

ней, серьезно ухудшается качество семенного материала в процессе оригинального семеноводства. Из-за несоответствия нормативным требованиям стандарта такие партии приходится выбраковывать из дальнейшего оборота, что приводит к серьезным экономическим потерям [3]. Высокий уровень трудоемкости и потребность значительных финансовых ресурсов существенно ограничивают возможности широкого использования традиционной технологии производства мини-клубней. К тому же выход клубней с одного растения в среднем составляет 4-8 шт. [4]. В редких случаях продуктивность достигает 10-12 клубней с растения, но наличие нестерильных субстратов может приводить к их вторичному заражению.

Наряду с традиционной технологией в оригинальном семеноводстве используется размножение микроклубней *in vitro* в условиях контролируемой среды [1, 5-7]. Способ производства *in vitro* микроклубней в пробирочной культуре в лабораторных условиях позволяет существенно образом минимизировать затраты, но такие клубни в основном очень мелкие – Ø 3-8 мм и массой 0,2-0,7 г [8]. Кроме того, одно растение в основном формирует один клубень [7].

Проблему снижения трудоемкости и повышения эффективности исходного оздоровленного семенного материала может решить внедрение новых инновационных методов производства, позволяющих эффективно использовать площади, водно-минеральные ресурсы, минимизировать агрохимикаты, существенно снизить материальные, трудовые и финан-

Аннотация. Представлено устройство для выращивания растений без использования почвы в условиях водно-воздушной питательной среды для массового тиражирования оздоровленных мини-клубней картофеля, позволяющее увеличить плотность посадки до 60 растений на 1 м², коэффициент размножения – до 50 и более клубней с растения, выход клубней – до 3000 шт/м² и более. При отсутствии субстрата появляется возможность активно воздействовать на ростостимулирующие характеристики выращиваемых растений и управлять процессами метаболизма, применять дифференцированный режим питания с контролем развития растений по фазам.

Ключевые слова: картофель, мини-клубни, коэффициент размножения, аэропоника, гидропоника, аэрогидропонные устройства.

совые затраты и в конечном итоге повысить уровень производства при снижении стоимости продукции.

Технология выращивания картофеля в водно-воздушной питательной среде раскрывает огромный потенциал усовершенствования производства и может позволить сократить основные затраты на него. Данная технология позволяет увеличить продолжительность клубнеобразования и успешно выращивать микроклубни массой от 10 г и выше [7].

Наиболее перспективным направлением гидропоники является аэропоника, где растения выращиваются в воздушном пространстве при обработке корней влаговоздушной смесью из питательных веществ [7]. Этот метод наиболее экономически эффективен, позволяет решить проблемы с вредителями и неблагоприятными погодными условиями [4]. При данном способе с одного растения можно получать свыше 57 мини-клубней размером более 10 мм с минимальными затратами электроэнергии [9, 10]. Использование аэропонных систем позволяют максимально увеличить коэффициент размножения семян без ухудшения их качества и существенно снизить затраты на выращивание оздоровленных семян [3]. Благодаря аэропонике появилась возможность получения экологически чистого урожая круглый год [4].

Многочисленные исследования промышленного производства в условиях гидропоники и аэропоники показали, что технология выращивания в водно-воздушной культуре может стать одним из устойчивых альтернативных способов производства растительной продукции, при котором требуется меньше природных ресурсов, удобрений и химических средств защиты, что позволит существенно увеличить эффективность производства и повысить качество продукции.

Цель исследований – создание эффективной системы выращивания картофеля для ускоренного размножения и массового тиражирования оздоровленного семенного материала в оригинальном семеноводстве.

Материалы и методы исследования

Для изучения аэрогидропонного способа выращивания без использования твердых субстратов в условиях водно-воздушной питательной среды разработана аэрогидропонная установка АГМ-60 с активно-пассивной системой питания, позволяющая выращивать растения картофеля в воздушном пространстве с контролем условий развития и прямым управлением процессами роста и клубнеобразования во время вегетации. Может использоваться также для выращивания различных видов семян, клубнеплодов, зелени, плодов

и овощей. В ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха» разработана модель аэрогидропонного устройства с многоконтурной активно-пассивной системой питания, рассчитанная на выращивание до 60 высокорослых или 400 низкорослых травянистых растений (рис. 1).

В средней части каркаса (выполнен из анодированного алюминия размерами 600×1800×1860 мм) размещается пластиковый аэрогидропонный короб (ПНД, толщина стенок 4-6 мм) с технологическими окнами, через которые во время вегетации производятся визуальный мониторинг и плановое обслуживание корневой системы с развивающимися в воздухе клубнями. Система питания комбинированная, активно-пассивная, осуществляется аэро- и гидропонными методами. Активная обработка корней выполнялась методом периодического аэрозолирования прикорневого пространства водно-воздушной питательной смесью. Управление режимом питания и освещением обеспечивалось через 2-канальное реле времени, питание – от электрического насоса.

Водораспределительная сеть расположена под посадочной панелью внутри короба. Гидропонная система (короб с находящимся внутри питательным раствором) обеспечивает пассивное питание растений методом частичного погружения корней в пи-

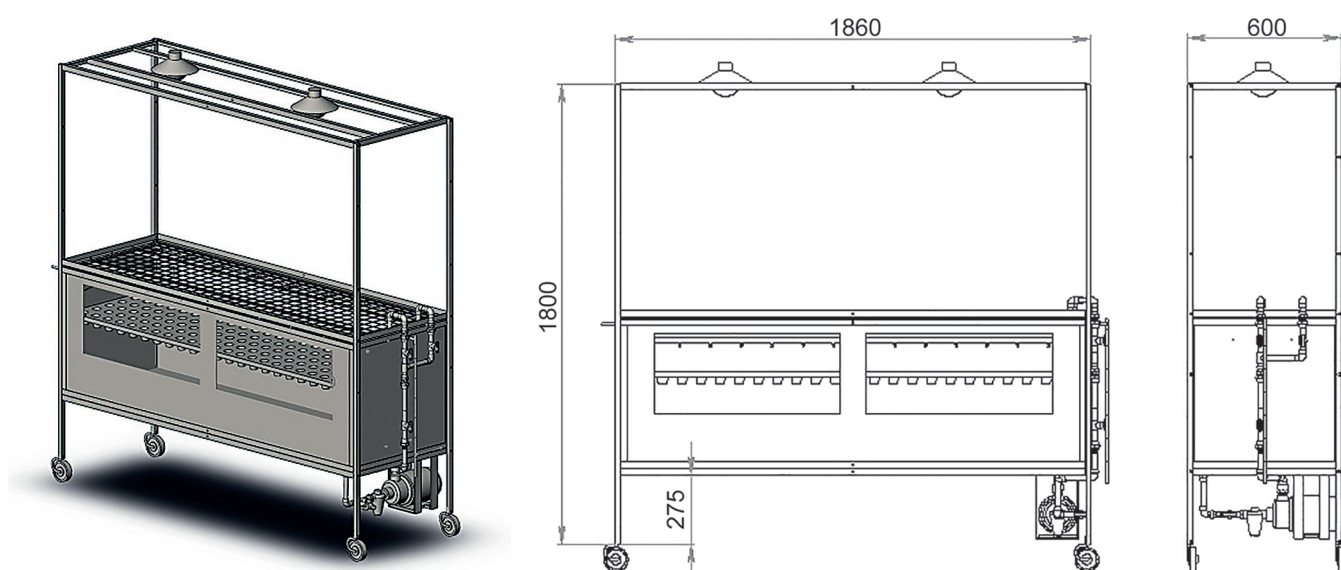


Рис. 1. Универсальный аэрогидропонный модуль АГМ с многоконтурной активно-пассивной системой питания

тательную жидкость. В случае аварии снабжение растений питанием не прекратится. Короб сверху накрывается жесткой нержавеющей сеткой с ячейками размером 100×100 мм и черной плотной пленкой, сверху настилается мягкий материал из фольгированного вспененного полипропилена (пенофол) толщиной 10 мм.

Пенофол надежно фиксирует стебли высаживаемых микрорастений. На панели площадью 1,06 м² размещают до 60 микрорастений. Активная система питания аэропонного контура управляется контроллером, включающим насос по заданному программой времени.

Техническая характеристика аэрогидропонного модуля

Площадь, м ² :	
рабочая полезная	1,06
модуля с технологическими проходами	2,12
Водоизмещение аэрогидрокороба, л	До 150
Число:	
высаживаемых высокорослых растений	До 60
контуров питания	2
форсунок	28
Мощность, Вт:	
водяного насоса от сети 220 В или 24 В	350 Вт (или 100 Вт)
водяного насоса	100
Габаритные размеры модуля (без роликов), мм	1950×600×1900

Для определения эффективности выращивания мини-клубней на модуле АГМ-60 15 мая 2017 г. было высажено 60 микрорастений картофеля

Таблица 1. Составы макро- и микросолей для питания растений на разных этапах развития

Элементы	N	P	K	Ca	Mg	EC	pH
Первые 60 дней	170	50	250	150	35	0,961	5,8-6,0
Стимулирование	50	50	120	35	35	0,44	5,8-6,0
Плодоношение	200	50	300	110	35	1,00	5,8-6,0

сорта Ред Скарлетт. Тестирование проводили на открытой площадке в естественных условиях освещения под укрывным материалом «Агроспан». Пробирочные микрорастения получали в лаборатории клонального микроразмножения ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха». Перед посадкой растения тщательно отмывали от остатков агаризованной среды, чтобы остатки агар-агара не попадали в систему питания. Питание растений осуществлялось по дифференцированной схеме (табл. 1).

Содержание микросолей в растворе по Мурасиге-Скуга – Fe-ЭДТА (8), В (0,5), Mn (0,5), Zn (0,1), Cu (0,05), I (0,63), Co (0,006), Mo (0,1). Концентрацию минеральных веществ поддерживали в пределах 0,7-1,3 г/л, кислотность раствора – на уровне pH 5,5-6,5, корректировку проводили каждые 2-3 дня. Смена раствора – один раз в месяц. Анализ ИФА, сбор и закладка клубней на хранение – согласно регламенту.

На начальной стадии развития растения получали стандартное питание. При переходе к фазе бутонизации качественный состав питательного раствора изменялся с целью иницирования и ускорения процесса клубнеобразования. После наступления фазы клубнеобразования питательный раствор меняли на более

концентрированный, с повышенным содержанием калия.

В течение вегетации в режиме реального времени проводился постоянный мониторинг развития клубней и поэтапный сбор урожая каждые 7-10 дней при достижении клубнями стандартных размеров 20-25 мм. Последний сбор – 15 октября. Процесс выращивания длился 153 дня.

Убираемые клубни мыли, сушили и закладывали на хранение при температуре +3-4°C. Полученные мини-клубни проверяли на семенные качества в следующем году в питомнике первого полевого поколения в сравнении с клубнями, полученными по традиционной технологии.

Результаты исследований и обсуждение

Аномально холодное лето 2017 г. стало причиной низкой урожайности мини-клубней. Июнь отметился снегопадом и заморозками, был зафиксирован абсолютный минимум сезона (+3,2) [11]. Установки размещались на открытом воздухе, для защиты от осадков их накрывали временными тентами. Растения и корневая часть подвергались резким перепадам температур. Из-за чрезвычайно неблагоприятных условий растения развивались очень медленно и начали нормально набирать



Рис. 2. Аэрогидропонная установка АГМ для выращивания растений при естественном освещении

Таблица 2. Урожай мини-клубней картофеля, полученный в условиях аэрогидропоники

Число растений в пробе	Урожай		Структура урожая						Средняя масса клубня, г	Коэффициент размножения, шт. на одно растение
	г	шт.	до 10 мм	масса, г	10-20 мм	масса, г	20-30 мм	масса, г		
60	12247	2084	376	301	1496	8978	212	2968	5,9	34,7

массу лишь с конца июля. К процессу клубнеобразования они перешли только в сентябре. Несмотря на такие погодные условия, установки показали высокую эффективность размножения (рис. 2).

За 153 дня культивирования 60 микрорастений было получено 2968 мини-клубней, или в среднем 34,7 шт. с куста. Это примерно в 5-6 раз больше, чем при традиционном выращивании в закрытом грунте, где с одного растения в среднем получают 4-8 клубней (табл. 2).

При подсчетах учитывали только мини-клубни, соответствующие стандартным размерам, определяемым по ГОСТ 33996-2016 «Картофель семенной. Технические условия и методы определения качества». Основную массу урожая составляли клубни размером 10-20 мм. В подсчете не участвовали клубни, не успевшие достичь размера 10 мм (в среднем до 25 шт. на один куст).

Для сравнительного анализа семенных качеств аэрогидропонных клубней и мини-клубней, полученных в условиях закрытого грунта, проводилось тестирование в питомнике первого полевого поколения. Срок посадки – 15.05.2018. Год характеризовался благоприятными условиями, что повлияло на быстрый рост и развитие растений. По всем вариантам на опытных посадках отмечались равномерные дружные всходы. Фенологические наблюдения в опыте при сравнении гидропонных и тепличных клубней показали примерно одинаковые результаты. Первые всходы от аэрогидропонных мини-клубней появились к 25 мая – на 12 дней раньше, чем от тепличных (табл. 3).

Раннее появление всходов объясняется тем, что к моменту посадки аэрогидропонные мини-клубни сильно проросли и практически имели уже

настоящие маленькие озелененные всходы. Тепличные мини-клубни тоже были проросшими, но длина ростков не превышала 3-5 мм. К середине

Таблица 3. Фенологические наблюдения и биометрия

Технология	Число дней от посадки до			Высота растений, см	Среднее число стеблей
	всходов	бутонизации	цветения		
Аэрогидропоника	10	35	55	31,4	4
Традиционная	22	35	55	32,2	4



Рис. 3. Урожай в первом полевом поколении, полученный от тепличных и аэрогидропонных мини-клубней, 2018 г.

Таблица 4. Сравнение урожая, полученного от аэрогидропонных и тепличных мини-клубней в первом полевом поколении

Способ получения	Число растений в пробе	Масса урожая в пробе, кг	Урожай под кустом, кг	Средняя масса клубня, г	Всего клубней в пробе, шт.	Структура урожая			Коэффициент размножения, шт. на одно растение
						< 30 мм	30-40 мм	> 40 мм	
Тепличные	25	16,6	0,66	39,7	292,7	39,3	184,7	68,7	11,7
Аэрогидропоника	25	14	0,56	40	227,3	35,7	155,3	36,3	9,1

июня тепличные растения догнали аэрогидропонные по росту и развитию. Дальнейшая картина посадок была практически одинаковой.

Все растения образовали в среднем одинаковое число стеблей (по 4 шт. на один куст), средний рост растений по всем вариантам составлял 31-32 см. При сравнении урожая под кустом установлено, что тепличные мини-клубни дали 11,7 клубней против 9,1 шт. – под аэрогидропонными растениями. При этом средняя масса клубня аэрогидропонных растений составила 40 г против 39,7 г – тепличных (табл. 4).

Полученные в условиях аэрогидропонники мини-клубни имеют почти равную всхожесть и урожай по сравнению с тепличными растениями. Главное преимущество аэрогидропонного метода выращивания – возможность получить в несколько раз большее количество исходного посадочного материала сопоставимого качества с меньшими затратами (рис. 3).

Метод обеспечивает увеличение объемов семенного материала в оригинальном семеноводстве почти в 3-4 раза и переход на четырех- и даже на трехлетнюю схему семеноводства. При отсутствии субстрата появляется возможность активно воздействовать на ростостимулирующие характеристики выращиваемых растений и управлять процессами метаболизма, применять дифференцированный режим питания с контролем развития растений по фазам. Выращивание в водно-воздушной питательной среде исключает контакт корневой системы с инородной твердой субстратной средой, а также трудоемкие работы и затраты, связанные с обслуживанием субстрата, сопутствующей техники и инвентаря.

Выводы

1. Определены основные преимущества аэрогидропонного модуля АГМ-60 и способа выращивания растений в водно-воздушной культуре. Модуль эксплуатируется в любых условиях искусственного и естественного освещения. Работает в автономном режиме. В случае возникновения

аварийных ситуаций устройство способно полноценно функционировать в течение длительного времени без риска гибели растений.

2. Выращивание растений происходит без использования твердых субстратов, что позволяет воздействовать на процессы роста и развития в режиме реального времени, исключает контакт и заражение корневой системы, уменьшает трудоемкость работ и затраты, связанные с обработкой твердой субстратной среды. Технология является ресурсосберегающей и экологически безопасной.

3. Созданные аэрогидропонные устройства и разработанный метод выращивания в водно-воздушной культуре с активно-пассивной системой питания позволяет повысить эффективность производства исходного семенного материала и увеличить количественный выход в расчете на одно растение и на единицу полезной площади.

Список

использованных источников

1. Анисимов Б.В. Мировое производство картофеля: тенденции рынка, прогнозы и перспективы // Картофель и овощи. 2021. № 10. С. 3-8.
2. Жевора С.В., Анисимов Б.В., Симаков Е.А., Овэс Е.В., Зебрин С.Н., Митюшкин А.В., Журавлев А.А., Деревягина М.К., Хутинаев О.С. Семеноводство картофеля высших категорий качества : метод. указания Чебоксары, 2023. 84 с.
3. Жеребцов Б.В., Козлов А.В., Нетёсов С.В. Анализ и выбор эффективного способа для выращивания меристемных растений картофеля (SOLANUM TUBEROSUM L.) // АгроЭкоИнфо. 2021. № S7.
4. Громенко И.В. Аэропоника или метод выращивания хвойных растений в воздухе // Экономика строительства. 2023. № 5. С. 28-33.
5. Патент № 179163 U1 Российская Федерация. Биотехнологическая установка для производства семенного материала : № 2017146466 : заявл. 27.12.2017 : опубл. 03.05.2018 / Милехин А.В., Рубцов С.Л., Бакунов А.Л., Шевченко С.Н., Васильев С.И., Котов Д.Н., Машков С.В.
6. Нуриддинов Я.А., Тоболова Г.В. Микрклональное размножение картофеля // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения : сб. матер. II Междунар. студенческой науч.-практ. конф. (г. Тюмень, 15 марта 2018 г.). Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2018. С. 150-153.

7. Марзоев З.А., Карданова И.С., Хутинаев О.С., Зебрин С.Н., Грачева И.А., Анисимов Б.В. Инновационные технологии выращивания мини-клубней в безвирусном семеноводстве картофеля // Евразийское научное объединение (ЕНО). 2020. № 8-6 (66). С. 386-394.

8. Мишуров Н.П., Щеголихина Т.А., Жевора С.В., Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Хутинаев О.С., Манохина А.А. Интеллектуальные технологии в оригинальном семеноводстве клубнеплодов : аналит. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. 84 с.

9. Хутинаев О.С. Сравнение продуктивности растений картофеля при выращивании мини-клубней в условиях аэрогидропонники и в горшках с почвенным субстратом // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. 24(5) : 757-766.

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 // Вест. ФГОУ ВПО МГАУ им. В.П. Горячкина, 2018. № 4 (86). С. 7-14.

11. Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Жевора С.В., Овэс Е.В., Хутинаев О.С., Шабанов Н.Э., Манохина А.А., Макаренков Д.А., Цирульников Н.В., Букреев Д.М., Салиев Ал.Ан., Салиев Аз.Ал., Черников Д.Г., Черников Г.В. Аэрогидрофотоника в растениеводстве: моногр. М., 2023. 328 с.

Technologies of Accelerated Propagation of Initial Seed Material from *in vitro* Micro Plants on the Biotechnological Module AGM-60

O.S. Khutinaev, V.I. Starovoytov, O.A. Starovoytova

(Federal Research Center of Potato named after A.G. Lorkh)

T.A. Shchegolikhina

(FGBNU "Rosinformagrotech")

A.A. Manokhina

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

Summary. The device for growing plants without using soil in a water-air nutrient medium for mass replication of healthy mini-tubers of potatoes is presented which allows to increase the planting density to 60 plants per 1 m², the multiplication coefficient - up to 50 or more tubers per plant, the yield of tubers - up to 3000 pcs/m² and more. In the absence of the substrate it becomes possible to actively influence the growth-stimulating characteristics of the grown plants and control metabolic processes, apply a differentiated nutrition regime to control of plant development by phases.

Key words: potatoes, mini-tubers, multiplication factor, aeroponics, hydroponics, aerohydroponic devices.

Реферат

Цель исследования – создание эффективной системы выращивания картофеля для ускоренного размножения и массового тиражирования оздоровленного семенного материала в оригинальном семеноводстве. Представлено устройство аэрогидропонного модуля АГМ-60 для выращивания растений без использования почвы в условиях водно-воздушной питательной среды для увеличения объемов семенного материала в оригинальном семеноводстве почти в 3-4 раза. Устройство позволяет увеличить плотность посадки до 60 растений на 1 м², коэффициент размножения – до 50 и более клубней с растения, выход клубней – до 3000 шт/м² и более. При отсутствии субстрата появляется возможность активно воздействовать на ростостимулирующие характеристики растений и управлять процессами метаболизма, применять дифференцированный режим питания с контролем развития растений по фазам. На начальной стадии развития растения получали стандартное питание. При переходе к фазе бутонизации, качественный состав питательного раствора изменялся для ускорения процесса клубнеобразования. Затем питательный раствор меняли на более концентрированный с повышенным содержанием калия. В течение вегетации в режиме реального времени проводился мониторинг развития клубней и поэтапный сбор урожая каждые 7-10 дней при достижении клубнями стандартных размеров (20-25 мм). Процесс выращивания длился более 150 дней. Убираемые клубни мыли, сушили и закладывали на хранение (при температуре +3-4°C). Модуль эксплуатируется в любых условиях искусственного и естественного освещения, работает в автономном режиме. В случае возникновения аварийных ситуаций устройство способно полноценно функционировать в течение длительного времени без риска гибели растений. Выращивание растений без использования твердых субстратов исключает контакт и заражение корневой системы, уменьшает трудоемкость работ и затраты, связанные с обработкой твердой субстратной среды. Технология является ресурсосберегающей и экологически безопасной.

Abstract

The purpose of the study is to create an effective potato growing system for accelerated propagation and mass replication of improved seed material in the original seed production. The paper presents the aeroponic module AGM-60 for growing plants without using soil in a water-air nutrient medium to increase the volume of seed material in original seed production by almost 3-4 times. The device allows increasing the planting density to 60 plants per 1 m², the multiplication coefficient - up to 50 or more tubers per plant, the yield of tubers - up to 3000 pcs/m² or more. In the absence of a substrate it becomes possible to actively influence the growth-stimulating characteristics of the plants and control metabolic processes, apply a differentiated nutrition regime with control of plant development in stages. At the initial stage of development the plants received standard nutrition. During the transition to the budding stage, the qualitative composition of the nutrient solution was changed to accelerate the tuberization process. Then the nutrient solution was changed to a more concentrated one with an increased potassium content. During the growing season tuber development was monitored in real time and the harvest was collected step-by-step every 7-10 days when the tubers reached standard sizes (20-25 mm). The growing process lasted more than 150 days. The harvested tubers were washed, dried and stored (at a temperature of +3-4°C). The module can be used with artificial and natural lighting, it operates autonomously. In case of emergency situations the device is capable to function for a long time without the risk of plant death. Growing plants without the use of solid substrates makes it possible to avoid the contact and infection of the root system, reduces labor intensity and costs associated with the processing of solid substrate media. The technology is resource-saving and environmentally friendly.

ФОРУМ И ВЫСТАВКА по глубокой переработке зерна и промышленной биотехнологии

Грэйнтек
Форум и экспo по глубокой переработке зерна и биотехнологии

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

Форум и выставка - уникальное специализированное событие отрасли в России и СНГ
19-20 ноября 2024 года в отеле Лесная Сафмар, Москва

В фокусе Форума – практические аспекты глубокой переработки зерна и сахарной свеклы как для производства продуктов питания и кормов, так и биотехнологических продуктов с высокой добавленной стоимостью. Будет обсуждаться производство нативных и модифицированных крахмалов, сиропов, органических кислот, аминокислот (лизин, треонин, триптофан, валин), сахарозаменителей (сорбит, ксилит, маннит) и других химических веществ.

21 ноября 2024 года пройдет семинар «Грэйнтэксперт», посвященный практическим вопросам запуска и эксплуатации завода глубокой переработки зерна. Семинар проводится для технических специалистов, которые отвечают за производственный процесс и высокое качество конечной продукции.

Возможности для рекламы

Форум и выставка «Грэйнтек» привлечет в качестве участников владельцев и топ-менеджеров компаний, что обеспечит вам, как партнеру, уникальные возможности для встречи с новыми клиентами. Большой выставочный зал будет удобным местом для размещения стенда вашей компании. Выбор одного из партнерских пакетов позволит Вам заявить о своей компании, продукции и услугах, и стать лидером быстрорастущего рынка глубокой переработки зерна и промышленной биотехнологии.

Партнеры Форума прошлых лет



Agros 2025 expo

МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛОВ АПК

Птицеводство | Свиноводство | Корма | Ветеринария
Молочное и мясное животноводство | Племенное дело
Полевое кормопроизводство | Кормозаготовка
Комбикормовая промышленность | Хранение зерна

22-24 ЯНВАРЯ | МОСКВА | КРОКУС ЭКСПО

ВЕДУЩИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ И МИРОВЫЕ ПРОИЗВОДИТЕЛИ И ПОСТАВЩИКИ:

- ТЕХНИКА, ОБОРУДОВАНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ
- СОВРЕМЕННАЯ ГЕНЕТИКА
- КОРМА, КОРМОВЫЕ ДОБАВКИ, ПРЕМИКСЫ
- ВЕТЕРИНАРНЫЕ ПРЕПАРАТЫ И ИНСТРУМЕНТЫ

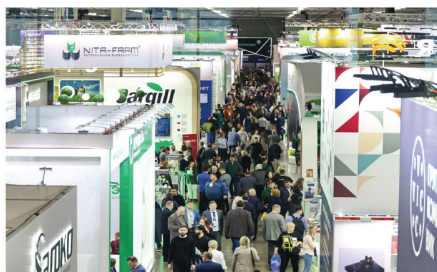
НАСЫЩЕННАЯ ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА – СВЫШЕ 350 СПИКЕРОВ:

- БОЛЕЕ 60 КОНФЕРЕНЦИЙ, СЕМИНАРОВ, КРУГЛЫХ СТОЛОВ
- ВСЕГДА АКТУАЛЬНЫЙ, ПОЛЕЗНЫЙ КОНТЕНТ БЕЗ РЕКЛАМЫ
- ВСЕРОССИЙСКИЕ СЪЕЗДЫ И СОВЕЩАНИЯ
- ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ФОРУМ ФЕРМЕРОВ – ЗИМНЯЯ ТОЧКА
ПРИТЯЖЕНИЯ ФЕРМЕРСКОГО СООБЩЕСТВА

НОВОЕ
В 2025г.

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ
МЯСОПЕРЕРАБОТКИ

МУКОМОЛЬНОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ



«Выставка Агрос - №1 в животноводстве в России и, самое главное, она сделана для специалистов, представителей отрасли, аналитиков и экспертов»

Алексей Гордеев, заместитель Председателя Государственной Думы Федерального Собрания РФ

СОВМЕСТНО С

PotatoHorti
2025 agritechexpo

800+ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ И ПОСТАВЩИКОВ
21 000+ ПОСЕТИТЕЛЕЙ
80+ МЕРОПРИЯТИЙ ПРОГРАММЫ
600+ ЭКСПЕРТОВ

AGROS-EXPO.COM



РЕКЛАМА

Больше информации об участии в наших выставках:

Тел./WhatsApp: +7 (495) 128 29 59

E-Mail: agros@agros-expo.com

Организатор: ООО «Агрос Экспо Групп»

САМАЯ
АКТУАЛЬНАЯ
ИНФОРМАЦИЯ
О ВЫСТАВКЕ



Концепция цифровой оценки фенотипа и поведения крупного рогатого скота

С.С. Юрочка,

канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,
yssvim@yandex.ru

С.О. Базаев,

канд. с.-х. наук, науч. сотр.,
sbazaeff@yandex.ru

И.М. Довлатов,

канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,
dovlatovim@mail.ru

Ф.Е. Владимиров,

науч. сотр.,
fvladimirov21@gmail.com

Е.Б. Петров,

канд. с.-х. наук, вед. науч. сотр.,
evg-petrov@mail.ru
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Аннотация. Концепция включает в себя технологию, базирующуюся на оптических 2D- и 3D-камерах; комплекс собираемых данных, состоящих из признаков экстерьера, активности и социального контакта с животными; определение конкретных паттернов поведения животных. Цифровая оценка фенотипа животных позволит анализировать их рост и развитие, проводить расчет будущей продуктивности, получать верифицированные данные для селекционной работы и формирования племенного ядра стада.

Ключевые слова: животноводство, крупный рогатый скот, цифровой двойник, оценка поведения, фенотип, оптические системы.

Постановка проблемы

В связи с нехваткой высококвалифицированных специалистов на животноводческих комплексах, урбанизацией, оттоком специалистов из животноводческой отрасли, низким процентом выпускников, готовых идти работать в отрасль, крайне затруднительно проводить эффективную селекционную работу с существующими породами сельскохозяйственных животных, в частности крупного рогатого скота, и создавать новые породы.

Отрасль нуждается в современных технологиях, которые автоматизируют ручной труд при селекционной работе.

Сегодня в некоторых регионах Российской Федерации проводится геномная селекция животных, по которой определяется их племенная ценность. Оценка фенотипа животного, продуктивных признаков и здоровья не проводится автоматизированными системами, что замедляет и усложняет процессы геномной селекции, улучшения существующих и создания новых пород животных. Современные методы и технические средства для создания цифровых копий животных, в которых автоматическим образом будут оцифрованы данные по признакам продуктивности, здоровья, экстерьеру каждой особи, ускорят селекционную работу.

Применение современных технологий на основе искусственного интеллекта, методов обработки больших данных позволяет оценивать генетический потенциал стада в автоматическом режиме, выделяя животных для ремонта стада и исключая «неэффективных» из будущего разведения. Такой подход повышает точность отбора и обеспечивает возможность прогнозирования выхода животноводческой продукции, увеличения ее количества и качества. Интенсивное животноводство позволило обеспечить рост продуктивности животных, но привело к снижению жизнеспособности и продуктивного долголетия. Разработка способов неинвазивного цифрового мониторинга состояния сельскохозяйственных животных увеличит количество их лактаций путем оперативного выявления и лечения развивающихся заболеваний.

По данным Ю.С. Ценч [1], развитие АПК в настоящее время имеет тренд использования цифровых и интеллектуальных технологий. Развитие всех отраслей в данном направлении по-

тенциально позволит достичь высоких товарных показателей и улучшений в части использования сельскохозяйственных животных. В Российской Федерации существует значительный потенциал развития сельского хозяйства. Реализация его возможна с использованием инструментов повышения эффективности аграрного производства путем создания и внедрения средств автоматизации, цифровых технологий и искусственного интеллекта [2]. Для цифровой оценки фенотипа и поведения животных целесообразно применять технологию получения цифровых копий (цифровой двойник). Эффективность применения и возможное достижение адекватности цифровых двойников рассмотрено в исследовании [3]. С 2018 г. в АПК применяется ряд инструментов для создания цифровых двойников следующего поколения, при этом, если ранее цифровые двойники имели низкую адекватность моделей, то сейчас технологии позволяют создавать их с высоким уровнем адекватности.

Цель исследования – разработка концепции системы цифровой оценки фенотипа и поведения животных для получения лабораторного образца, способного определять номер животного (биометрическая система распознавания КРС), следить за ним, отслеживать траекторию движения, распознавать нормальное поведение и классифицировать отклонения в его поведении.

Материалы и методы исследования

Аналитическое исследование проводилось с использованием баз данных Elibrary, Web of Knowledge, Mdp, Elserv, Google Scholar, PubMed, Agricola, AMiner, SciVerse, ACM Digital library. При первом поиске вводили следующие ключевые слова: cow/cattle detection; dairy behaviour;

computer vision; precision livestock farming; animal welfare; lying behaviour; depth sensing camera; detection; tracking; lameness; social interactions; precision Livestock Farming (PLF) technologie.

Для наблюдения за животными установили трехмерную камеру и использовали платформу Detectron 2 и методы Intersection Over Union (IOU) для точного обнаружения, классификации и сегментации движения коров [4]. По итогам трехдневного тестирования на группе животных (56-64 коров) установлено, что средняя точность обнаружения хромоты составила 99,94%. Развитие данного направления актуально и практически реализуемо, математическая модель, применяемая для определения хромоты, строится на изменении максимальной высоты позвоночника конкретной коровы. Используемые математические алгоритмами машинного обучения: метод случайного леса (random forest), метод наименьших квадратов, дерево решений (DT).

Насколько камера 360° подходит для мониторинга поведения животных, определяли в работе [5]. Оценка действий животных проводилась на 2299 снимках визуально, определялись особенности их поведения лежа, стоя, во время приема пищи. Исследовалось, возможно ли с использованием человеческих ресурсов распознавать поведение животных по исходным снимкам (учитывая, что в некоторых задачах оценка человеком точнее, чем машинная). Точность визуальной оценки по снимкам с камеры 360° составила 93,1%, что подтверждает возможность использования данных средств для автоматической оценки дистанционно.

Возможность оценить поведение животных, используя технологию определения расстояния по сенсорной метке, основанной на стандарте передачи данных IEEE 802.15.4-2011, работающем в диапазоне частот 3,5-6,5 ГГц, изучалась в работе [6]. Дополнительно для регистрации активности животного был добавлен трехосевой акселерометр ST LIS2DE. Сенсорная метка рассчитывала расстояние от ближайшей базовой станции. Средняя

ошибка точности измерения составила 0,39 м со стандартным отклонением 0,62 м. Данная система может рассматриваться как потенциальная система мониторинга за животными.

С использованием приборной базы и данных коммерческого продукта CowView компании GEA наблюдение велось за 158 молочными коровами в 6 коровниках на протяжении 17 недель [7]. Изучались социальные взаимодействия между животными. Данное исследование показало, что каждое животное имеет собственную социальность, тенденцию устанавливать отношения с конкретными животными. Контроль животных осуществляли позиционные регистраторы, однако при отслеживании движения животных системой проявился ограниченный функционал: нет возможности определить, стоит животное, пьет или принимает пищу.

В аналитическом исследовании [8] установлено, что в большинстве изученных работ использовались стандартные цифровые цветные видеокамеры, при этом в статьях, опубликованных после 2013 г., чаще использовались 3D-камеры. В основном системы видеоаналитики разрабатывались для свиней. Выделяют три группы средств для системы цифровой оценки

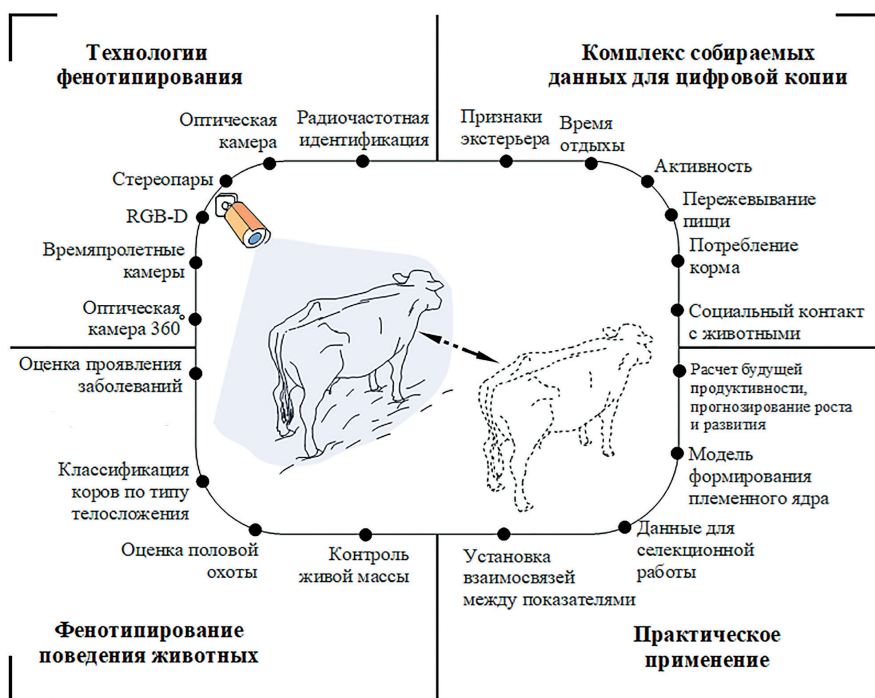
данных о животных: 2D-монохромные камеры, цветные цифровые видеокамеры и 3D-камеры. Тепловизионные камеры были исключены из обзора, так как, представляя подробную информацию о температуре и реакции на стресс, они в меньшей степени могут дать данные для анализа поведения животных.

Индивидуальный алгоритм отслеживания перемещения крупного рогатого скота, где средством захвата изображения является камера 360°, разработан в работе [9]. Кроме того, представлена и описана работа ряда алгоритмов, проведены испытания работоспособности алгоритма, где точность обнаружения животных по всем кадрам составила 99,91%.

Анализ литературы позволил прийти к выводу, что для построения фенотипа цифровых копий животного, а также для системы цифровой оценки их поведения наиболее актуальными технологиями являются 2D-монохромные камеры, цветные цифровые видеокамеры и 3D-камеры.

Результаты исследований и обсуждение

Разработанная концепция системы цифровой оценки поведения животных представлена на рисунке.



Концепция системы цифровой оценки поведения животных

Практическое применение системы цифровой оценки поведения животных выражается в том, что она проводит комплексный сбор данных для цифровой копии, а специалисты получают возможность расчета будущей продуктивности, прогноза роста и развития животных, включая данные по предкам, формирования модели племенного ядра, а также установления из получаемых данных взаимосвязи между показателями, например, продуктивности.

В ходе исследования систематизированы собираемые данные для цифровой копии и сформировано несколько таблиц, где подробно указано, что относится к цифровой копии животных, какие существуют технологии и технические средства для построения цифровых копий с учетом их преимуществ и недостатков, возможные воздействия на оптические системы во время использования при промышленной технологии производства молока.

В соответствии с табл. 1 при условии верхнего расположения системы идентификации (камер) появляется

возможность по рельефу спины и/или головы идентифицировать животное (распознавание номера по биометрическим данным). Определение номера животного оптическим способом упрощает построение промышленной системы, так как нет надобности объединять разные системы между собой, например, идентификацию через RFID-метки и оптическую систему слежения. Такие паттерны поведения, как активность и социальный контакт животных, необходимо рассматривать отдельно.

Исходя из данных табл. 1, с помощью оптической системы можно определить номер животного, построить трек его движения, распознать текущую активность, определить качественные и количественные характеристики паттернов. Определение наименований паттернов, а также создание цифровой копии конкретного животного, которой будут свойственны свои качественные и количественные характеристики паттернов активности, являются основой для разработки способа неинвазивного мониторинга состояния

сельскохозяйственных животных для ранней диагностики развивающихся заболеваний.

В табл. 2 указаны технические средства, возможные для применения при цифровой оценке паттернов поведения животных.

Для выполнения задачи распознавания биометрических данных коровы (распознавание номера) могут использоваться оптические камеры без возможности оценки глубины кадра, однако такие системы ограничены применимостью к конкретному стаду. Основными отличительными особенностями животных будут являться их цветовая разметка или уникальные отличительные метки, которые поставлены животным механическим путем, но различимые лишь визуально.

Оптические камеры с возможностью оценки глубины кадра расширяют набор паттернов для выявления номера животного, например, оценивать животное можно по рельефу спины, головы, походке и др. Эта возможность обусловлена тем, что при оценке глубины составляется уникальная карта поверхности, например спины животного, с периодическим ее уточнением, так как животное изменяет свой балл упитанности в течение хозяйственного срока использования [10]. Также можно составить модель походки животного на основании колебаний оси его хребта.

В соответствии с табл. 2 характеристика широкоугольного обзора системы камер актуальна и важна, так как он позволяет снизить количество устанавливаемых единиц камер для покрытия всей сканируемой зоны, но имеет и ряд недостатков. Во-первых, из-за особенностей такой оптики могут возникать искажения по краям изображения, что может ухудшить восприятие 3D-эффекта и, самое главное, снизить точность измерения: чем дальше оцениваемый объект находится от центра кадра, тем ниже точность измерения этого объекта.

Во-вторых, широкоугольные камеры имеют более узкое поле зрения по сравнению со стандартными, что может ограничить число объектов, включаемых в стереоизображение. В-третьих, стереопары нужно под-

Таблица 1. Комплекс данных, собираемых для построения цифровой копии системы цифровой оценки поведения КРС

№	Наименование паттерна животного для цифровой оценки поведения	Расшифровка	Характер собираемых данных (характеристики паттернов)
1	Признаки экстерьера	Рельеф спины	2D-фотоизображение/ 3D-карты. Точки на животном
2		Рельеф головы	2D-фотоизображение/ 3D-карты. Точки на животном
3	Активность (этиология)	Стоит	Поза, время, прочие возможные особенности и паттерны
4		Ходит	Средняя скорость движения, направление движения
5		Повышенная скорость движения	Скорость движения превышает среднюю. Модель движения животного с периодическим изменением скорости движения
6		Лежит	Время отдыха
7		Пережевывание пищи (жвачка)	Время пережевывания пищи
8		Потребление корма	Время нахождения около кормового стола
9	Социальный контакт с животным	Приближение или удаление от других животных	Расстояние до ближайшего животного и время нахождения около другого животного

Таблица 2. Технические средства, применяемые при цифровой оценке паттернов поведения животных

№	Характеристика / воздействия	С возможностью оценки глубины кадра			Без оценки глубины кадра		Радиочастотная идентификация	
		стереопара	3D TOF	RGB-D	оптическая камера с ограниченным углом обзора	оптическая камера 360°	полупассивные	активные
1	Построение глубины кадра	Возможно погрешность* моделей ценового сегмента			Нет возможности построения глубины кадра		Нет	
2	Бесконтактное определение номера животного	Возможно по рельефу спины, головы			Ограниченные возможности**		Да	
3	Обзор 360°	Нет			Нет	Да	Нет	
4	Широкоугольный обзор	Ограниченные возможности			Да		Нет	
5	Отслеживание перемещения и активности	Ограниченные возможности			Да		Да	
6	Фенотипирование поведения	Да			Да		Ограниченные возможности	
7	Оценка социального контакта животных	Да			Да		Ограниченные возможности	

*В зависимости от ценового диапазона изменяется точность измерения.

** Определение по разной цветовой разметке животных или прочих уникальных отличительных меток.

бирать таким образом, чтобы расстояние от установленной камеры до коровы являлось оптимальным для измерения еще с заводских настроек (под оптимальным измерением подразумевается наивысшая точность работы стереопары на установленном расстоянии от камеры до искомого объекта).

3D Time-of-Flight (TOF) камеры с широкоугольным объективом также имеют ряд недостатков: используют инфракрасные (ИК) лучи для измерения расстояния до объекта и широкоугольный объектив рассеивает эти лучи таким образом, что чем дальше объект от трехмерной камеры и чем дальше искомый объект от центра кадра, тем ниже точность его измерения. Кроме того, широкоугольные объективы обычно имеют более низкую светосилу, что снижает общую чувствительность камеры. Подбор широкоугольных TOF-камер требует обоснования выбора между углом обзора, точностью измерений и светосилой объектива.

Также возможно применять и радиочастотную идентификацию животных (см. табл. 2). Компания GEA Farm имеет коммерческий продукт CowView, который основан на радиочастотной идентификации животных. Одним из ограничений данного метода является невозможность многосторонней цифровой оценки поведения животных.

При этом система отслеживает активность животных и социальный контакт. Для распознавания всего комплекса цифровой оценки поведения и развивающихся заболеваний оценивать одну лишь активность животных недостаточно.

Дополнительный элемент, такой как RFID-метка, позволяет точно распознавать номер коровы, упрощая систему. Распознанный номер и местоположение коровы путем анализа RFID-метки позволяет передать номер коровы и координаты находящегося животного на сервер для обработки данных. Информация преобразуется в координаты положения конкретной коровы, где данные присваиваются распознанному животному, т.е. оптическая камера определяет обезличенное животное в квадрате сканирования. Далее производится сверка данных от системы RFID, какое животное находится по запрашиваемым координатам. Затем система, идентифицировав корову, проводит оценку ее перемещения, отслеживая ее номер, направление движения и скорость. Данные записываются в цифровую копию животного.

Выводы

1. Актуальными технологиями для построения цифровых копий животных и цифровой оценки их фенотипа и поведения являются 2D-монохромные

камеры, цветные цифровые видеокамеры и 3D-камеры. Широкоугольных камер требуется меньшее количество при установке, но они имеют ряд недостатков: искажения по краям изображения, узкое поле зрения, снижение точности измерения с увеличением расстояния от объекта.

2. Оптическая система распознавания номера животного без навесных устройств для идентификации упрощает построение промышленной системы цифровой оценки фенотипа и поведения животных, а с возможностью оценки глубины кадра расширяет набор паттернов для оценки номера животного, например, по рельефу спины, головы, походке и т.д.

3. Комбинирование оптической системы и радиочастотной идентификации позволяет точно распознавать номер животного, его местоположение и производить оценку перемещения.

Список

использованных источников

1. **Ценч Ю.С.** Научно-технический потенциал как главный фактор развития механизации сельского хозяйства // С.-х. машины и технологии. 2022. Т. 16. № 2. С. 4-13.
2. **Лобачевский Я.П., Дорохов А.С.** Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства // С.-х. машины и технологии. 2021. Т. 15. № 4. С. 6-10. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10.

3. Дорохов А.С., Павкин Д.Ю., Юрочка С.С. Технология цифровых двойников в сельском хозяйстве: перспективы применения // Агроинженерия. 2021. Т. 25. № 4. С. 14-25. DOI: 10.26897/2687-1149-2023-4-14-25.

4. Tun S.C., Onizuka T., Tin P., Aikawa M., Kobayashi I., Zin T.T. Revolutionizing Cow Welfare Monitoring: A Novel Top-View Perspective with Depth Camera-Based Lameness Classification. J. Imaging 2024, 10, 67. <https://doi.org/10.3390/jimaging10030067>.

5. Kurras F., Jakob M. Smart Dairy Farming – The Potential of the Automatic Monitoring of Dairy Cows' Behaviour Using a 360-Degree Camera. Animals. 2024; 14(4):640. <https://doi.org/10.3390/ani14040640>.

6. K. Ren, G. Bernes, M. Hetta, J. Karlsson. Tracking and analysing social interactions in dairy cattle with real-time locating system and machine learning // J. Syst. Archit., 116 (2021), Article 102139, 10.1016/j.sysarc.2021.102139.

7. L.E. Rocha, O. Terenius, I. Veisier, B. Meunier, P.P. Nielsen. Persistence of sociality in-group dynamics of dairy cattle // Applied Animal Behaviour Science, 223 (2020), Article 104921.

8. Wurtz K, Camerlink I, D'Eath RB, Fernandez AP, Norton T, Steibel J. et al. (2019) Recording behaviour of indoor-housed farm animals automatically using machine vision technology: A systematic review. PLoS ONE 14 (12): e0226669. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226669>.

9. Mg W.H.E., Tin P., Aikawa M., Kobayashi I., Horii Y., Honkawa K., Zin T.T. Customized Tracking Algorithm for Robust Cattle Detection and Tracking in Occlusion Environments. Sensors. 2024; 24(4): 1181. <https://doi.org/10.3390/s24041181>.

10. Yurochka S.S., Dovlatov I.M., Pavkin D.Y., Panchenko V.A., Smirnov A.A., Proshkin Y.A., Yudaev I. Technology of Automatic Evaluation of Dairy Herd Fatness. Agriculture. 2023;

13(7):1363. <https://doi.org/10.3390/agriculture13071363>.

Concept of Digital Assessment of Phenotype and Behavior of Cattle

S.S. Yurochka, S.O. Bazaev, I.M. Dovlatov, F.E. Vladimirov, E.B. Petrov

(FGBNU FNATS VIM)

Summary. The concept includes technology based on optical 2D and 3D cameras; the set of collected data consisting of exterior features, activity and social contact with animals; determination of specific animal behavior patterns. Digital assessment of the animal phenotype will make it possible to analyze their growth and development, calculate future productivity, obtain verified data for selection work and forming the breeding core of the herd.

Key words: cattle breeding, cattle, digital twin, behavior assessment, phenotype, optical systems.



ПроПротеин

Форум и экспо

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

Форум и выставка по производству и использованию новых пищевых протеинов: растительные заменители мяса, культивируемое мясо, насекомые как еда.

Форум является уникальным специализированным событием отрасли в России и СНГ и пройдет 26 сентября 2024 в отеле Лесная Сафмар в Москве

Возможности для рекламы:

Выбор одного из спонсорских пакетов Форума позволит Вам заявить о своей компании, продукции и услугах, и стать лидером быстрорастущего рынка.



УДК 631.95

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-9-29-32

Исследование аэробной ферментативной переработки смеси конского и козьего навоза с оценкой потерь углерода и азота газовым выбросом

Э.В. Васильев,канд. техн. наук, вед. науч. сотр.,
sznii6@yandex.ru**С.А. Егоров,**вед. инженер,
sznii6@yandex.ru**Д.А. Максимов,**канд. техн. наук, вед. науч. сотр.,
maximov@sznii.ru**Е.В. Шалавина,**канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,
shalavinaev@mail.ru

(ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Аннотация. Представлены результаты исследований аэробной ферментативной переработки смеси конского и козьего подстильного навоза в специально изготовленных лабораторных установках, обеспечивающих аэрацию и перемешивание перерабатываемой смеси. Расчётным методом определены потери питательных элементов при проведении данной обработки в виде газового выброса и предложены возможные пути их снижения.

Ключевые слова: экологическая безопасность, навоз, биоферментация, выбросы, климатически активные вещества.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-26-00232 «Модели и методы проектирования управления экзотермической ферментационной переработкой побочных продуктов животноводства, обеспечивающие снижение выбросов климатически активных веществ» <https://rscf.ru/project/24-26-00232/>).

Постановка проблемы

Интенсификация сельскохозяйственного производства позволила обеспечить продовольственную безопасность страны, но оказывает всё более негативное воздействие на окружающую среду. В первую очередь, это касается

крупных животноводческих предприятий. Их работа привела к росту объемов и концентрации навоза и помёта вокруг них, что стало проблемой, приводящей к загрязнению окружающей среды органическими веществами [1]. Поэтому одним из основных рисков негативного воздействия сельскохозяйственного производства является система обращения с побочными продуктами животноводства (ППЖ).

Одновременно с этим обострилась проблема снижения плодородия почв. Наблюдается недостаток питательных элементов, который в целом по стране оценивается в 6 млн т по действующему веществу, а также отмечается сокращение содержания гумуса. Значимым фактором, влияющим на гумификационные процессы и повышение почвенного плодородия, является использование органических удобрений. Интенсивность данного процесса определяется количеством и качеством поступающего в почву органического вещества. Наиболее полно отвечают данным требованиям органические удобрения, получаемые на основе смесей ППЖ с влагопоглощающими материалами.

В соответствии Федеральным законом № 248 «О побочных продуктах животноводства и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», принятым 1 марта 2023 г., запрещается непосредственное использование ППЖ. В законе определен ряд требований по их учёту, хранению, переработке и использованию, при нарушении которых ППЖ признаются отходами и происходит начисление платы за негативное воздействие на окружающую среду.

Переработка ППЖ с получением высококачественных органических

удобрений возможна путём биотермической аэробной ферментации. Данный экзотермический процесс представляет собой биodeградацию смешанной популяции микроорганизмов исходного субстрата, его минерализацию и синтез новых биологически активных соединений, обеспечивающих качество получаемого удобрения [2]. В результате происходит обеззараживание перерабатываемого материала при повышении температуры от протекающих экзотермических реакций и биолитических процессов. В готовом продукте отсутствуют болезнетворные микроорганизмы и неприятные запахи. Наиболее активно данные процессы протекают в термофильном режиме при температуре свыше 45 °С, что позволяет существенно ускорить процесс переработки ППЖ. Однако при этом ускоряются процессы распада, в результате чего возрастает содержание аммиака, диоксида углерода и других загрязняющих веществ в газовом выбросе, образующемся в процессе переработки [3].

Основное внимание по работе с ППЖ уделяется крупным животноводческим предприятиям. В то же время в стране существует развитая многоукладная экономика и широкое распространение получили крестьянские (фермерские) хозяйства (К(Ф)Х), хозяйства населения [4, 5]. Они являются важным звеном аграрных рыночных отношений, участвующих в обеспечении продовольственной безопасности страны [6], и в большинстве своём имеют небольшое поголовье сразу нескольких видов животных, в том числе мелкого рогатого скота и лошадей. Принимая во внимание, что спрос на продукты из козьего молока, такие как сыр и йогурт, растёт, пред-

полагается развитие данного направления.

По данным Росстата, в 2022 г. общее поголовье коз в стране составило более 1,7 млн, из них только порядка 129 тыс. приходилось на сельскохозяйственные организации. Основное поголовье коз сосредоточено в крестьянских (фермерских) и личных подсобных хозяйствах [7]. В коневодстве Российской Федерации численность лошадей всех направлений составляет порядка 1,3 млн, из них только 230 тыс. принадлежат сельскохозяйственным организациям. Основное поголовье находится в К(Ф)Х и личном пользовании граждан. Только в К(Ф)Х, личных подсобных хозяйствах и хозяйствах индивидуальных предпринимателей наблюдается рост поголовья лошадей за последние годы [8].

Козий и овечий навоз имеет низкую влажность, он более плотный и твердый по сравнению с отходами других животных и птицы, имеет схожесть по химическому составу, так как пищеварительный тракт этих животных имеет близкое строение. По содержанию биогенных элементов данный вид навоза не уступает некоторым видам птичьего помета. Конский навоз тоже имеет невысокую влажность и довольно высокое содержание питательных элементов. Наиболее распространено содержание данных видов животных на подстилке. В этом случае навоз смешивается с подстилкой, что приводит к изменению его химического состава и свойств в зависимости от количества и вида подстилочного материала.

Переработка данных видов навоза путём аэробной биоферментации должна предусматривать сохранение содержащихся в нем питательных элементов. Это позволит обеспечить получение качественных органических удобрений и снизить нагрузку на окружающую среду от выбросов климатически активных веществ в процессе переработки.

Цель исследований – исследование технологии переработки смеси конского и козьего подстилочного навоза с оценкой потерь углерода и азота, которые являются основными элементами газового выброса климатически активных веществ.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на опытной базе ИАЭП – филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ в 2023-2024 гг. Исходный материал для экспериментальных исследований отбирался в одном из фермерских хозяйств Ленинградской области, где поголовье лошадей и коз содержится на глубокой подстилке.

Анализ проб при проведении исследований осуществляли в лаборатории института с использованием имеющегося необходимого аналитического оборудования. Анализ проводился по методикам в соответствии с ГОСТ 26713-85, ГОСТ 26715-85, ГОСТ 27979-88, ГОСТ 26717-85, ГОСТ 27980-88 для органических удобрений. Определялись влажность, общий азот и фосфор, кислотность, зольность, органическое вещество в пересчёте на углерод.

Опыты выполнялись в трехкратной повторности. Обработка результатов осуществлялась в программе Excel. Погрешность средних значений оценивалась по критерию Стьюдента. Математическое ожидание находится с вероятностью Р в интервале

$$P\left[\bar{x} \pm t_v \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right] = 1 - \alpha, \quad (1)$$

где $\bar{x}$ – среднее значение;

t_v – табличное значение критерия Стьюдента (для уровня вероятности 0,9 значение составляет 2,92);

$1 - \alpha$ – заданный уровень вероятности (для процесса ферментации принято значение 0,9);

n – количество точек массива (для данного эксперимента $n = 3$);

σ – среднеквадратичное значение.

Ошибку среднего m_x определяли по формуле

$$m_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (2)$$

Исследование процесса биоферментации смеси проводили в специально изготовленных двух идентичных лабораторных установках. Для организации процесса аэрации воздухом установки были подключены к компрессору. Режим аэрации смеси был принят на основании ранее проведенных исследований ферментации материалов с аналогичными свойствами: пери-

одическое включение и выключение компрессора, что обеспечивало суммарно 8 ч аэрации в сутки [9]. Время аэрации – 7 мин/ч, скорость аэрации – 5,5 м/с, интервал перемешивания – 12 ч, температура подаваемого воздуха – в среднем не ниже +17 °С.

Процесс биоферментации осуществляли разогревом смеси с выходом на термофильный режим с выдержкой и завершением при начале устойчивого снижения температуры, что обеспечивало получение продукта в соответствии с требованиями к процессам переработки по РД-АПК 1.10.15.02-17'.

Результаты исследований и обсуждение

Проведённый анализ исследуемых материалов позволил определить их агрохимические показатели, которые представлены в табл. 1.

Одним из основных параметров, влияющих на процесс биоферментации, является соотношение углерода к азоту (C/N). Определено его оптимальное значение как 25/1 [10]. При его увеличении процесс замедляется, снижение приводит к активации, но возрастают потери азота путём его улетучивания в форме аммиака [11]. В нашем случае соотношение C/N у козьего навоза довольно низкое, у конского, наоборот, высокое. Показатель кислотности смещён в щелочную среду, особенно у козьего навоза, в силу высоких концентраций азота и, соответственно, протекающих под действием микроорганизмов процессов аммонификации, приводящих к увеличению количества солей аммония и выделению аммиака.

Исходя из этого, определен состав перерабатываемой смеси, который обеспечил бы устойчивое протекание аэробной биоферментации и недопущение больших потерь азота. Смесь должна включать в себя одну долю по массе козьего навоза на глубокой подстилке и две доли конского навоза. Для получения смеси при проведении исследований использовали 15 кг козьего и 30 кг конского навоза (табл. 2).

Подготовленная смесь была загружена в две установки по 22,5 кг. Схема установки и ее внешний вид представлены на рисунке.

Таблица 1. Показатели конского и козьего подстилочного навоза

Показатели	Конский навоз			Козий навоз		
	среднее значение	σ	m_x	среднее значение	σ	m_x
Влажность, %	78,86	0,05	0,03	68,94	0,03	0,02
Сухое вещество, %	21,14			31,06		
Кислотность, pH	8,30	0,10	0,06	9,55	0,03	0,02
$N_{\text{общ}}$ (по сухому веществу), %	1,16	0,01	0,01	2,19	0,01	0,01
$P_{\text{общ}}$ (по сухому веществу), %	0,30	0,02	0,01	0,50	0,02	0,01
Зола, %	12,89	0,02	0,01	18,11	0,02	0,01
Углерод, %	43,56	0,01	0,01	40,95	0,01	0,01
C/N	37,55			18,69		

Таблица 2. Показатели смеси, подготовленной для ферментации

Показатели	Среднее значение	σ	m_x
Влажность, %	70,45	0,02	0,01
Кислотность, pH	9,30	0,02	0,01
$N_{\text{общ}}$ (по сухому веществу), %	1,79	0,03	0,02
$P_{\text{общ}}$ (по сухому веществу), %	0,35	0,03	0,02
Зола, %	17,30	0,02	0,01
Углерод, %	41,35	0,01	0,01
C/N	23,10		

Температура смеси в них вышла на термофильный режим, превысив 45 °С, в течение двух суток. В первой установке на пятые сутки произошёл спад температуры до 38 °С, но с быстрым возвращением обратно в термофильный режим. Температура стала спадать по истечении девяти суток, что свидетельствовало о завершении процессов. Во второй установке в течение шести суток стабильно поддерживался термофильный режим, начиная с седьмых суток произошёл переход в мезофильный режим, говорящий о завершении процесса переработки.

Из-за наличия нестабильности процесса ферментации, обусловленной малым объёмом исследовательских установок и, соответственно, малой массой перерабатываемого материала, была продолжена работа в мезофильном режиме. Выгрузка осуществлялась через 14 суток после начала эксперимента. В результате после выгрузки и пропускания через дробилку было получено качественное органическое удобрение, имеющее однородную, рассыпчатую структуру, тёмный цвет, отсутствие неприятных запахов (табл. 3).

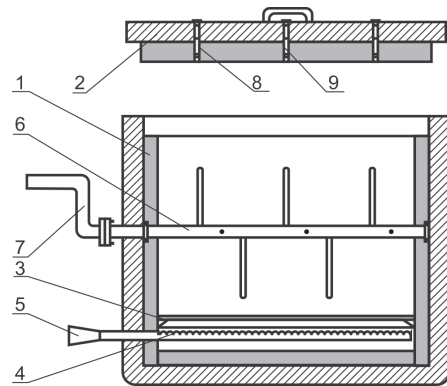
В процессе аэробной биоферментации произошли изменения массы и влажности перерабатываемой смеси. Влажность субстрата на выходе в первой установке не снизилась, даже незначительно увеличилась в силу распада органического вещества в результате протекания микробиологических процессов. Во второй установке за счёт аэрации и в силу более высоких температур ферментируемой массы произошёл более высокий вынос влаги и влажность субстрата снизилась.

Таблица 3. Характеристика выгружаемой смеси

Показатели	Установка 1			Установка 2		
	среднее значение	σ	m_x	среднее значение	σ	m_x
Влажность выгружаемой смеси, %	70,70	0,20	0,12	69,50	0,10	0,06
Масса, кг:						
выгружаемой смеси	17,9	0,05	0,03	16,80	0,03	0,02
сухого вещества	5,24			5,12		
Кислотность, pH	9,18	0,02	0,01	9,47	0,04	0,02
$N_{\text{общ}}$ (по сухому веществу), %	1,70	0,03	0,02	1,68	0,05	0,03
$P_{\text{общ}}$ (по сухому веществу), %	0,44	0,02	0,01	0,45	0,02	0,01
Зола, %	25,52	0,03	0,02	25,93	0,07	0,04
Углерод, %	37,24	0,02	0,01	37,03	0,04	0,02
C/N	21,90			22,04		



а



б

Лабораторная установка:

а – внешний вид; б – схема:

- 1 – ферментационная камера; 2 – съемная крышка;
- 3 – перфорированная пластина; 4 – аэрационный воздуховод;
- 5 – патрубок подключения компрессора; 6 – мешалка;
- 7 – ручка привода смесителя; 8 – заглушки; 9 – лючок замера температуры

Из-за изменившегося отклонения от термофильного режима при протекании процесса (окисление в основном до углекислого газа), так как процесс аэробный, в первой установке убыль массы сухого вещества составила 21%, а во второй, где процесс

протекал стабильно, была несколько выше – 23%. В пересчёте на углерод потери соответственно составили 29 и 31%. За время опыта в первой установке потери углерода составили порядка 0,8 кг, во второй – 0,85 кг. Расчёт показал, что в первой установке выброс

углекислого газа составил 2,9 кг (1,5 м³), во второй – 3,1 кг (1,6 м³). Окисление углерода явилось одним из основных источников энергии для подъёма и поддержания необходимой температуры при переработке. В пересчете на удельные показатели потери в виде выброса углекислого газа соответствовали 130-140 кг/т, или 65,7-70,7 м³/т перерабатываемого материала.

Потери азота при аэробной биоферментации могли происходить газовым выбросом в виде аммиака, окислов, закиси и свободного азота. В первой установке потери азота составили 0,030 кг, во второй – 0,032 кг. Потери азота во второй установке несколько выше в силу большей интенсивности протекавших там ферментационных процессов. Это соответствовало при данных режимах переработки удельным потерям азота 1,3-1,4 кг/т ферментируемой смеси.

Анализ концентраций фосфора показал отсутствие его потерь в силу практической невозможности образования им газообразных веществ. При ферментации он сохранился, а его концентрация в переработанном материале за счёт распада части органического вещества выросла.

Исследования показали, что для фермерских хозяйств, в которых содержатся мелкие рогатый скот и лошади, переработка смеси их навоза на подстилке в принятом соотношении методом аэробной биотермической ферментации эффективна с точки зрения охраны окружающей среды. Потери углерода и азота на данном материале и при установившемся режиме обработки выше полученных на смеси твёрдой фракций свиного навоза с отходами от механической очистки зерна, где они составляли: по углероду – 16 кг/т, по азоту – 0,6 кг/т [12].

Высокие потери углерода и азота могут являться следствием малых объёмов исследовательских установок. В силу этого происходили большие удельные потери тепла, что привело к достижению только минимально требуемой температуры, необходимой для переработки и, соответственно, увеличению ее срока. Использование биоферментационных установок производственных объёмов позволит наряду с увеличением массы перерабатываемой

смеси снизить удельные теплоты и выйти на режим по обработке в семь суток, что приведёт к снижению объёма образующегося выброса и удельных потерь углерода и азота на массу перерабатываемого материала.

Выводы

1. На основе анализа результатов проведённых исследований определён рациональный состав смеси для проведения ее аэробной биоферментационной переработки. Установлено, что перерабатываемая смесь должна включать в себя одну часть козьего и две части конского навоза, что обеспечит устойчивое протекание процесса при минимальном выбросе газообразных активных веществ. Переработка предлагаемой смеси позволит получить качественные органические удобрения с высоким содержанием азота и фосфора.

2. Установлено, что из-за малых объёмов исследовательских установок и соответственно высоких теплотерь процесс переработки увеличивается до 14 суток. За это время происходит распад сухого вещества на 21-23%, что соответствовало возможному удельному газовому выбросу 130-140 кг/т углекислого газа и 1,3-1,4 кг/т азота, теряемых в виде климатически активных веществ, которые оказывают негативное воздействие на окружающую среду.

3. Переход к установкам производственных объёмов позволит сократить сроки обработки до 4-7 суток, что обеспечит соответствующее снижение потерь через газовый выброс.

5. Полученные результаты могут быть использованы для оценки образующихся выбросов климатически активных веществ от установок по ферментации ППЖ и для разработки систем по очистке газовых выбросов при аэробной биоферментации.

Список использованных источников

1. Mengqi Z., Shi A., Ajmal M., Ye L., Awais M. Comprehensive review on agricultural waste utilization and high temperature fermentation and composting // Biomass Conversion and Biorefinery. 2021. Vol 13. P. 5445-5468 DOI: <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01438-5>.
2. Deblina R., Sunil K., Suchandra N., Osman A. Effect of Microbes in Enhancing the Composting Process: A Review. IJPSS. 2022. DOI: 10.9734/IJPSS/2022/v34i232469, Vol. 34, № 23. P. 630-641.

3. Брюханов А.Ю., Шалавина Е.В., Васильев Э.В., Егоров С.А. Оценка косвенных выбросов закиси азота в результате сбора и хранения навоза и помета // АгроЭкоИнженерия. 2024. № 1(118). С. 4-16. DOI 10.24412/2713-2641-2024-1118-4-16.

4. Очирова Т.Ч. Проблемы и перспективы развития крестьянских (фермерских) хозяйств // Молодой ученый. 2021. № 2 (344). С. 266-268.

5. Сибиряев А.С. Развитие сельских территорий в контексте диверсификации // Вест. НГИЭИ. 2023. № 9 (148). С. 110-120. DOI 10.24412/2227-9407-2023-9-110-120.

6. Набиева А.Р. Хозяйства населения и крестьянские (фермерские) хозяйства в системе кооперации: преимущества и перспективы // Вест. Воронежского ГАУ. 2021. №1 (68). С. 116-126. DOI: <https://doi.org/10.53914/issn2071-2243-2021-1-116>.

7. Мирошина Т.А., Чалова Н.А. Состояние молочного козоводства в России и мире (обзор) // Вест. КрасГАУ. 2022. № 10. С. 123-130.

8. Узденова М.А. Современные тенденции развития коневодства в России // Наука без границ. 2021. № 1 (53). С. 60-64.

9. Уваров Р.А., Шалавина Е.В., Васильев Э.В., Фрейдкин И.А. Определение оптимального состава субстрата на основе твердой фракции свиного навоза для твердофазной аэробной ферментации // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2019. Т. 3. № 100. С. 187-196.

10. Седых А.А., Миронов В.В. К вопросу соотношения углерода к азоту в компостной смеси при планировании экспериментов // Техника и технологии в животноводстве. М.: ФГБНУ ВНИИМЖ. 2016. № 4 (24). С. 147-150.

11. Li D., Yuan J., Ding J., Wang H., Shen Y., Li G. Effects of carbon/nitrogen ratio and aeration rate on the sheep manure composting process and associated gaseous emissions. J Environ Manage. 2022; 323:116093. doi:10.1016/j.jenvman.2022.116093.

12. Васильев Э.В., Максимов Д.А., Шалавина Е.В. Результаты исследований биотермической ферментативной переработки органических отходов свиноводческого комплекса с оценкой образующихся выбросов // Вест. Ульяновской ГСХА. 2023. № 3(63). С. 200-206.

Study of Aerobic Enzymatic Digestion of Horse and Goat Manure Mixture with Assessment of Carbon and Nitrogen Losses by Gas Emission

E.V. Vasiliev, S.A. Egorov,
D.A. Maksimov, E.V. Shalavina

(IAEP-branch of FGBNU FNATS VIM)

Summary. The article presents the results of studies of aerobic enzymatic processing of the mixture of horse and goat bedding manure in specially made laboratory equipment where the processed mixture is aerated and agitated. The calculation method is used to determine the losses of nutrients during this processing in the form of gas emissions and the possible ways to reduce such losses are proposed.

Key words: environmental safety, manure, fermentation, emissions, climate-active substances.

УДК 620.197.3

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-9-33-36

Результаты исследования эффективности ингибиторов коррозии донорно-акцепторного действия

С.М. Гайдар,

д-р техн. наук, проф. зав. кафедрой,
techmash@rgau-msha.ru

А.М. Пикина,

канд. техн. наук, доцент кафедры,
pikina@rgau-msha.ru

О.М. Лапсарь,

ассистент,
o.lapsary@rgau-msha.ru
(ФГБОУ ВО «РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева»,
ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина»);

М.В. Дулясова,

канд. техн. наук, д-р экон. наук, проф.,
врио директора,
fgnu@rosinformagrotech.ru
(ФГБНУ «Росинформагротех»)

Аннотация. Представлен впервые полученный ингибитор коррозии, являющий собой амиды высших карбоновых кислот (АВКК). Для определения состава и условий его получения проведены эксперименты, в которых варьировались соотношение реагентов и время проведения реакции при температуре 180-200 °С. Доказано, что при смешивании донорного и акцепторного ингибиторов при массовом соотношении 1:1 достигается синергетический эффект. Такая смесь, затормаживая одновременно катодный и анодный процесс, позволяет отнести данный состав к смешанным ингибиторам коррозии хомосорбционного типа.

Ключевые слова: ингибитор коррозии, реакция конденсации, амиды высших карбоновых кислот, синергетический эффект.

Постановка проблемы

Для замедления процессов коррозии металлов в промышленности применяются различные способы защиты [1, 2]. Одним из широко распространенных методов является использование ингибиторов [3-6]. Преимущество данного способа заключается в том, что можно значительно затормозить процессы коррозионного разрушения металлов и их сплавов при небольших затратах без принципиального изменения технологических схем. В настоящее время проводятся многочисленные исследования, связанные с поиском новых и изучением уже существующих ингибиторов. К перспективному направлению в этой области относится изучение синергетического эффекта, при котором антикоррозионные свойства смеси ингибиторов превосходят сумму антикоррозионных свойств каждого из ее компонентов [7, 8].

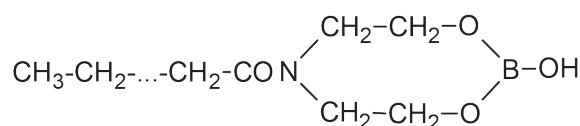
Явление синергизма можно объяснить тем, что на поверхности металла адсорбируются ингибиторы, отличающиеся химическим строением молекул, а следовательно, и физико-химическими свойствами. Такое различие позволяет наиболее полно защитить неоднородные участки поверхности металла. Исследования поведения ингибиторов в присутствии других веществ необходимы по той причине, что в процессах ингибирования наряду с синергизмом встречается также антагонизм, приводящий к уменьшению эффективности действия ингибиторов при их совместном присутствии, что является недопустимым [9]. В данной работе изучены антикоррозионные и электрохимические свойства двух типов ингибиторов: катодного, полученного взаимодействием триглицерида с диэтаноламином и борной кислотой, и анодного, являющегося нитрованным базовым маслом как в индивидуальном состоянии, так и в смеси в различных массовых соотношениях.

Материалы и методы исследования

Синтез ингибитора акцепторного действия АВКК

Смесь 65-130 г (0,075-0,150 моля) триглицерида (соевое масло) (ТГ) и 65-130 г (0,062-0,138 моля) диэтаноламина (ДЭА) нагревают при перемешивании до 70 °С в колбе, снабженной термометром и прямым холодильником, затем добавляют 6,5-19,5 г (0,105-0,315 моля) борной кислоты (БК). Смесь нагревается до 155 °С, при этом происходит реакция конденсации с выделением воды. Температуру реакционной смеси поднимают до 180-200 °С и выдерживают около 2 ч до получения прозрачной однородной массы.

Структурная формула полученного ингибитора имеет вид:



Электрохимические исследования

Образцы рабочих электродов из стали механически и химически (раствор $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ в 3% HNO_3) полировались с последующим обезжириванием в смеси ацетона и этилового спирта. Площадь рабочего электрода составляла 1,2 см². Вспомогательный электрод имел значительно большую площадь, чем рабочий, за счет развитой поверхности.

Поляризационные измерения проводились в трехэлектродной ячейке без разделения катодного и анодного про-

странства. Электродом сравнения служил хлорсеребряный электрод, помещенный в капилляр Габера-Луггина. В качестве фоновой жидкости использовался 0,5 М раствор Na_2SO_4 . Источником сигнала служил потенциостат-гальваностат IPC-Pro M, работающий в потенциостатическом режиме. На поверхности рабочих образцов – электродов наносились исследуемые составы, в течение некоторого времени выдерживались на воздухе и помещались в электрохимическую ячейку с фоновым раствором. Рабочий электрод выдерживался до постоянного кинетически равновесного потенциала (ΔE_{eq}). Температура во всех измерениях была постоянной $t = 22^\circ\text{C}$.

Антикоррозионные испытания

Антикоррозионные свойства ингибиторов определяли при ускоренных испытаниях в камере соляного (морского) тумана КСТ-18/001 с рабочим объемом 530 л. Пластинки из стали марки Ст3 с площадью поверхности $[(50,0 \times 50,0) \pm 0,2]$ мм, толщиной 3,0-5,5 мм. Смеси в растворителях наносили на стальные образцы. Время испытаний – 8 суток циклами 7/17.

Оценку защитной способности определяли гравиметрическим методом. Удаляли продукты коррозии, используя водный раствор серной кислоты и тиомочевину. Скорость коррозии рассчитывали по формуле

$$K = \Delta m / (S \cdot t),$$

где Δm – потеря массы, г;

S – площадь поверхности образца, м^2 ;

t – время испытаний, сут.

Степень защиты рассчитывали по формуле

$$Z = (K_i - K_1) \cdot 100 / K_1,$$

коэффициент торможения – $\gamma = K_1 / K_i$,

где i – номер эксперимента;

K_i – скорость коррозии, определенная гравиметрическим способом, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$;

K_1 – скорость коррозии в контрольном эксперименте в отсутствие защиты, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$.

Получение нитрованного масла (НМ)

К 100 мл минерального масла И-20 А добавляли по каплям при перемешивании 120 мл нитрующей смеси (смесь безводной азотной кислоты и 98%-го раствора серной кислоты в объемном соотношении 1:1) и полученную смесь перемешивали в течение 4 ч при температуре 60-70 $^\circ\text{C}$. Реакционную массу отстаивали и сливали избыток нитрующей смеси. Остаток нагревали до 80 $^\circ\text{C}$, добавляли 15 г стеариновой кислоты и смесь зашелачивали избытком известкового молока до $\text{pH} > 10$. Воду выпаривали, а продукт центрифугировали для удаления механических примесей. Получили 120 г нитрованного масла (НМ).

Результаты исследований и обсуждение

Определение состава и физико-химических свойств ингибитора АВКК

Для определения состава и физико-химических свойств были проведены эксперименты, в которых

Таблица 1. Результаты синтеза и свойства ингибиторов АВКК

№	Номер образца	Соотношение реагентов (г/г)			Время t, min		Масса ингибитора, г	Масса выделенной воды, г	A, mg HCl/g	Растворимость ингибиторов при концентрации 20% в растворителе при 25 °С*			Z, %
		ТГ	ДЭА	БК	t ₁ , min	t ₂ , min				ДТ	И-20А	SN-150	
1. Исследование при постоянном соотношении ТГ и ДЭА													
1	1	130	65	6,5	20	60	192,3	7,8	47,9	+	+	-	74,3
2	2	130	65	9,75	40	60	195,1	9,2	48,1	+	+	+	76,8
3	3	130	65	13	60	60	194	11,2	49,2	+	+	+	81,3
4	4	130	65	16,25	60	60	196,4	12,4	50,8	+	+	+	83,1
5	5	130	65	19,5	60	60	195,2	17,9	52,7	+	+	+	76,4
2. Исследование при соотношения ДЭА и БК 5:1 (t ₂ = 0)													
6	8	130	65	13	60	0	198,1	9	54,4	+	+	-	69,4
7	11	130	75	15	60	0	210,5	8,5	68,8	+	+	-	71,6
8	12	130	90	18	90	0	250,1	13,5	78,4	-	-	-	63,7
3. Исследование при соотношения ДЭА и БК 5:1 (t ₂ = 60 min)													
9	3	130	65	13	60	60	194	11,2	49,2	+	+	+	81,3
10	13	130	75	15	60	60	195	11,5	58	+	+	-	72,5
11	14	130	90	18	90	60	220,5	13,9	69,6	-	-	-	70,7
12	6	97,5	97,5	19,5	60	60	197,5	15	103,1	-	-	-	58,5
13	7	65	130	26	90	60	197,7	20	173,2	-	-	-	51,8
4. Исследование при изменении времени реакции t ₂ (t ₁ = 60 min)													
14	8	130	65	13	60	0	198,1	9	54,4	+	+	-	69,4
15	9	130	65	13	60	30	195,8	10,5	49,4	+	+	-	72,1
16	3	130	65	13	60	60	194	11,2	49,2	+	+	+	81,3
17	10	130	65	13	60	90	194,7	12,8	47,7	+	+	+	80,2
5. Исследование при изменении времени реакции t ₂ (t ₁ = 90 min)													
18	12	130	90	18	90	0	250,1	13,5	78,4	-	-	-	63,7
19	14	130	90	18	90	60	246,2	16,2	69,6	-	-	-	70,7
20	15	130	90	18	90	120	244,8	18,3	69,2	+	+	-	71,1

*Анилиновые точки масляных растворителей: 72,1 $^\circ\text{C}$ (ДТ), 90,3 $^\circ\text{C}$ (И-20А), 113,8 $^\circ\text{C}$ (SN-150).

варьировались соотношения реагентов и время проведения реакции при температуре 180-200 °С (t , min). Причем учитывались два временных интервала: время получения прозрачного раствора (t_1 , min) и время от получения прозрачного раствора до окончания реакции (t_2 , min). В результате получена серия образцов ингибиторов (табл. 1). Для всех образцов найдены аминное число (A , mg HCl/g), растворимость ингибиторов при концентрации 16% в растворителях при 25 °С («+» – прозрачная однородная смесь; «-» – расслоение смеси), а также защитный антикоррозионный эффект (Z , %).

Из полученных результатов видно, что при увеличении количества борной кислоты (образцы 1-5) либо смеси диэтаноламина и борной кислоты (образцы 6-13) происходит увеличение аминного числа полученных ингибиторов, в то время как при увеличении времени реакции наблюдается незначительное снижение аминного числа (образцы 14-20).

Исследования антикоррозионных свойств ингибитора АВКК-4 и нитрованного масла НМ

Для изучения влияния ингибиторов донорного и акцепторного действия и их смеси на коррозионные процессы были выбраны два органических соединения, молекулы которых содержат различные функциональные группы. Амиды высших карбоновых кислот проявляют восстановительные свойства за счет присутствия амидных и гидроксильных групп. В качестве второго ингибитора было выбрано нитрованное масло, обладающее окислительными свойствами за счет нитрогрупп. Перед проведением антикоррозионных испытаний ингибиторы растворили в масле И-20А в массовых соотношениях в соответствии с табл. 2.

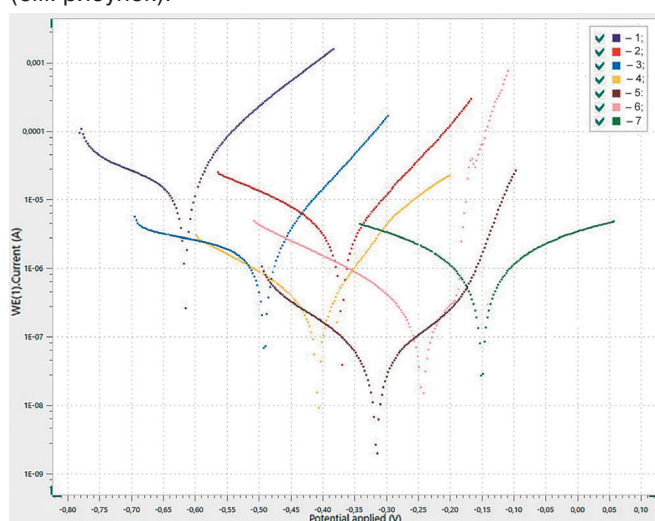
Антикоррозионные свойства ингибиторов определяли при ускоренных испытаниях в камере соляного (морского) тумана. Оценку защитной способности определяли гравиметрическим методом, после чего были рассчитаны скорость коррозии, степень защиты и коэффициент торможения. При проведении сравнительного анализа этих величин можно заключить, что увеличение защитных свойств наблюдается при одновременном присутствии в

составе смеси как АВКК-4, так и НМ, причем наилучший антикоррозионный эффект достигается при их массовом соотношении 1:1 (см. табл. 2, опыт 5), что свидетельствует о синергизме ингибиторов. При использовании данного состава скорость коррозии уменьшается по сравнению со скоростями процессов, ингибируемых при помощи только АВКК-4 или только НМ, на 8,7 и 31,5% соответственно.

Электрохимические исследования

Для электрохимического исследования были взяты образцы ингибиторов АВКК и НМ в соотношении, указанном в табл. 2.

Потенциометрическое исследование показало, что присутствие в масле И-20А только ингибитора АВКК-4 замедляет катодную и ускоряет анодную реакцию, смещая потенциал коррозии в отрицательную сторону. В то же время присутствие только НМ, наоборот, ускоряет катодную и замедляет анодную реакцию, потенциал коррозии смещается при этом в положительную сторону. Таким образом, ингибиторы АВКК-4 и НМ по характеру защитного действия являются соответственно катодным и анодным (см. рисунок).



Поляризационные кривые на стали Ст3 при различных концентрациях ингибиторов АВКК-4 и НМ в масле И-2А:

1 – фоновый электролит; 2 – И-2А; 3 – 16% АВКК-4; 4 – 12% АВКК-4 + 4% НМ; 5 – 8% АВКК-4 + 8% НМ; 6 – 4% АВКК-4 + 12% НМ; 7 – 16% НМ

Таблица 2. Состав и результаты испытания растворов ингибиторов коррозии АВКК 4 и НМ в масле И-20А

№	АВКК -4, масс. %	НМ, масс. %	Скорость коррозии K , g/m ² ·day	Защитный эффект Z , %	Коэффициент торможения, γ	$-E_{corr}$, mV	I_{corr} , A
1*	-	-	43,53	-	-	613	$1,53 \cdot 10^{-6}$
2	0	0	30,35	30,3	1,43	372	$5,12 \cdot 10^{-7}$
3	16	0	7,36	83,1	5,91	492	$1,74 \cdot 10^{-7}$
4	12	4	6,11	86	7,12	408	$4,91 \cdot 10^{-8}$
5	8	8	3,59	91,8	12,12	317	$6,83 \cdot 10^{-9}$
6	4	12	9,42	78,4	4,62	246	$2,84 \cdot 10^{-8}$
7	0	16	17,28	60,3	2,52	151	$7,04 \cdot 10^{-8}$

*Контрольный опыт в фоновом растворе.

Лучшее торможение процесса коррозии происходит при использовании смеси ингибиторов при их массовом соотношении 1:1, что согласуется с ускоренными опытами в камере соляного тумана. Как видно из поляризационных кривых, такая смесь ингибиторов незначительно смещает потенциал коррозии в положительную сторону ($\Delta E_{corr} = 55$ mV) по сравнению с E_{corr} в базовом масле, затормаживая одновременно катодный и анодный процесс, что позволяет отнести данный состав к смешанным ингибиторам коррозии хемосорбционного типа [10].

Наблюдаемый синергетический эффект ингибиторов АВКК-4 и НМ можно объяснить воздействием их на ка-

тодные и анодные участки. Катодный ингибитор АВКК-4 является поверхностно-активным веществом, содержащим группы с положительным суммарным электронным эффектом, такие как амидные и гидроксильные группы, что позволяет ему образовывать хемосорбционную фазу, прежде всего, на отрицательно заряженных катодных участках металла. Сродство электрона к поверхности железа оказывается меньшим, чем к ПАВ. В этом случае электроны металла переходят на электронные оболочки молекулы ПАВ, электронная плотность на поверхности металла возрастает, образуется электроотрицательный слой, увеличивающий энергию выхода электрона из металла.

В свою очередь, анодный ингибитор НМ, являясь донором электронов по отношению к металлу, уменьшает энергию выхода электрона из металла. Данный ингибитор образует хемосорбционные соединения, прежде всего, на положительно заряженных электроноакцепторных участках, т.е. на анодных участках корродирующего металла.

Оба ингибитора АВКК-4 и НМ адсорбируются на поверхности стали одновременно и тормозят как анодную, так и катодную реакцию коррозии с преимущественным сдвигом потенциалов в сторону положительных значений. Таким образом, синергетический эффект обусловлен электронодонорно-акцепторными свойствами ингибиторов по отношению к металлу.

Выводы

1. Разработана методика получения нового ингибитора коррозии на основе триглицерида, диэтаноламина и борной кислоты. Для определения состава и условий получения ингибитора с высокими антикоррозионными свойствами были проведены эксперименты, в которых варьировались соотношение реагентов и время проведения реакции при температуре 180–200 °С. Для изучения влияния ингибиторов донорного и акцепторного действия и их смеси на коррозионные процессы были выбраны два органических соединения, молекулы которых содержат различные функциональные группы.

2. Композиция из двух ингибиторов коррозии (донорного и акцепторного) по характеру защитного действия относится к смешанным ингибиторам хемосорбционного типа. Наибольший синергетический эффект достигается при массовом соотношении исходных ингибиторов 1:1.

3. Потенциометрическое исследование показало, что ингибитор АВКК замедляет катодную и ускоряет анодную реакцию, смещая потенциал коррозии в отрицательную сторону. Нитрованное масло, наоборот, ускоряет катодную и замедляет анодную реакцию, потенциал коррозии смещается при этом в положительную сторону. Применение данного состава позволяет значительно замедлить коррозионные процессы и увеличить за счет этого степень защиты изделий из стали.

Список использованной литературы

1. Guo Y., Rogov A., Hird A., Mingo B., Matthews A., Yerokhin A. Plasma electrolytic oxidation of magnesium by sawtooth pulse current, *Surf. Coat. Technol.*, 2022, 429, 127938. doi: 10.1016/j.surfcoat.2021.127938.

2. Jiang L., Dong Y., Yuan Y., Zhou X., Liu Y., Meng X. Recent advances of metal–organic frameworks in corrosion protection: From synthesis to applications, *Chem. Eng. J.*, 2022, 430, 132823. doi: 10.1016/j.cej.2021.132823.

3. Al-Amiery A.A., Rubaye A.Y.I., Kadhun A.A.H. and Al-Azzawi W.K. Thiosemicarbazide and its derivatives as promising corrosion inhibitors: a mini-review, *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, 2023, 12, no. 2, 597–620. doi: 10.17675/2305-6894-2023-12-2-12.

4. Talat N.T., Dahadha A.A., Abunuwar M., Hussien A.A. and Wafa'a Odeh. Polyethylene glycol and polyvinylpyrrolidone: potential green corrosion inhibitors for copper in H₂SO₄ solutions, *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, 2023, 12, no. 1, 215–243. doi: 10.17675/2305-6894-2023-12-1-13.

5. Osipenko M.A., Kasach A.A., Adamiec J., Zimowska M., Kurilo I.I. and Kharytonau D.S. Corrosion inhibition of magnesium alloy AZ31 in chloride-containing solutions by aqueous permanganate, *J. Solid State Electrochem.*, 2023, 27, 1847–1860. doi: 10.1007/s10008-023-05472-3.

6. Abdulhadi S., Mohammed A., Al-Azzawi W.K., Gaaz T., Kadhun A.A.H., Shaker L.M. and Al-Amiery A.A. The corrosion inhibition abilities of PVA and PVP against the corrosion of mild steel in hydrochloric acid, *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, 2023, 12, no. 2, 645–663. DOI: 10.17675/2305-6894-2023-12-2-14.

7. Moudgil H.K., Yadav S., Chaudhary R.S. and Kumar D. Synergistic effect of some antiscalants as corrosion inhibitor for industrial cooling water system, *J. Appl. Electrochem.*, 2009, 39, 1339–1347. DOI: 10.1007/s10800-009-9807-4.

8. Gao H., Li Q., Dai Y., Luo F., Zhang H.X. High efficiency corrosion inhibitor 8-hydroxyquinoline and its synergistic effect with sodium dodecylbenzenesulphonate on AZ91D magnesium alloy, *Corros. Sci.*, 2010, 52, 1603–1609. doi: 10.1016/j.corsci.2010.01.033.

9. Hosseini M., Mertens S.F.L., Arshadi M.R. Synergism and antagonism in mild steel corrosion inhibition by sodium dodecylbenzenesulphonate and hexamethylenetetramine, *Corros. Sci.*, 2003, 45, 1473–1489. doi: 10.1016/S0010-938X(02)00246-9.

10. Gao Y.-B., Hu J., Zuo J., Liu Q., Zhang H., Dong S.-G., Du R.-G. and Lin C.-J. Synergistic inhibition effect of sodium tungstate and hexamethylene tetramine on reinforcing steel corrosion, *J. Electrochem. Soc.*, 2015, 162, C555–C562. doi: 10.1149/2.0641510jes.

Results of the Study of the Effectiveness of Donor-acceptor Corrosion Inhibitors

S.M. Gaidar, A.M. Pikina, O.M. Lapsar

(RGAU - MSHA named after K.A. Timiryazev,
Russian State University named after A.N. Kosygin)

M.V. Dulyasova

(FGBNU "Rosinformagrotech")

Summary. Created for the first time a novel corrosion inhibitor, which is amides of higher carboxylic acids (AHCA), is presented. To determine the composition and conditions of its production the experiments were conducted in which the ratio of the reagents was varied, as well as the reaction time at a temperature of 180–200 °C. It was proven that when donor and acceptor inhibitors are mixed at a mass ratio of 1:1 then synergistic effect is achieved. Such a mixture inhibiting both the cathodic and anodic processes allows us to classify this composition as a mixed corrosion inhibitor of the homosorption type.

Key words: corrosion inhibitor, condensation reaction, amides of higher carboxylic acids, synergistic effect.

УДК: 631.363: 621.365.55

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-9-37-40

Исследование возможности обработки кормового зерна СВЧ-излучением через волноводы прямоугольного сечения с открытым торцом

С.В. Осокин,
аспирант,
osokinsergey500@gmail.com
(ФГБОУ ВО «Нижегородский ГИЭУ»);

А.А. Васильев,
канд. техн. наук, вед. науч. сотр.,
lex.of@mail.ru

Д.А. Тихомиров,
чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, проф.,
гл. науч. сотр.,
Tihda@mail.ru

А.Н. Васильев,
д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотр.,
Vasilev-viesh@inbox.ru
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Аннотация. Представлены результаты исследования эффективности обработки кормового зерна микроволнами (СВЧ) с использованием прямоугольного волновода. С помощью компьютерного моделирования и экспериментальных испытаний установлено, что такой метод подачи поля неэффективен: распределение нагрева в слое зерна неравномерно; мощности одного магнетрона недостаточно для достижения равномерного нагрева зерна до 250°.

Ключевые слова: кормовое зерно, поле СВЧ, волновод, моделирование, электромагнитное поле, нагрев зерна.

Постановка проблемы

Тепловая обработка кормового зерна инициирует ряд физико-химических и биологических процессов, влияющих на его питательную ценность, безопасность и срок хранения. Одним из ключевых изменений является декстринизация крахмала [1]. Этот процесс значительно увеличивает энергетическую ценность корма [2]. Нагревание также приводит к денатурации белков, что улучшает их переваримость. Ещё одним положительным эффектом является уничтожение патогенов и

вредителей [3]. Кроме того, происходят изменения в растворимости и доступности питательных веществ [4-5].

Исследования подтверждают, что использование в рационах кормления сельскохозяйственных животных и птицы тепловой обработки зерна способствует достижению высоких показателей продуктивности при одновременном снижении затрат на кормление. Эти преимущества делают тепловую обработку важной частью стратегии управления питанием в современном животноводстве [6].

СВЧ-обработка кормового зерна демонстрирует ряд значительных преимуществ перед традиционными методами тепловой обработки. Сокращается время обработки благодаря эффективности и равномерности нагрева СВЧ, уменьшается энергопотребление и повышается производительность процесса [7, 8]. Кроме того, меньшее время экспозиции и контролируемое воздействие микроволн помогают сохранить более высокий уровень витаминов, минералов и других питательных веществ в обработанном зерне, что положительно сказывается на питательной ценности корма.

СВЧ-обработка является экологически чистым процессом, не требующим использования воды или химических добавок, что минимизирует риск загрязнения окружающей среды. Ещё одной особенностью СВЧ-установок для обработки зерна является возможность их использования для обработки малых объёмов. При этом установка будет малогабаритной, переносной и потреблять небольшое количество энергии. Такой вариант исполнения подходит для личных подсобных и малых фермерских хозяйств.

СВЧ-установка для обработки кормового зерна реализует сложение мощностей двух магнетронов [9]. В данной установке поле СВЧ подаётся в зерно через открытый торец прямоугольного волновода. Необходимо определить, возможно ли таким способом подачи СВЧ-поля в зерновой слой обеспечить равномерный его нагрев.

Цель исследования – используя компьютерное моделирование и лабораторный эксперимент, оценить применимость способа подачи СВЧ-поля в зерновой слой для равномерного его нагрева до 250-260° в переносных установках.

Материалы и методы исследования

Для проведения подобных исследований эффективно использование программного обеспечения CST Microwave Studio, предоставляющего широкие возможности для анализа электромагнитных полей [10]. Первый шаг в создании модели – разработка трехмерной геометрии волновода и зернового слоя.

Выбор метода моделирования осуществлялся на основе сложности геометрии и требований к точности результатов, применение метода конечных элементов (FEM) обосновано в работе [11]. После запуска расчета программа формирует трехмерное распределение электрического поля внутри зернового слоя. Основным интересом заключается в распределении удельной мощности, поглощаемой зерном. Этот параметр дает представление о том, как энергия СВЧ распределяется внутри слоя и воздействует на зерно.

Для проведения моделирования была подготовлена компьютерная модель установки (рис. 1).

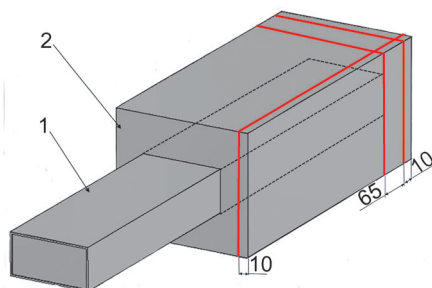


Рис. 1. Внешний вид компьютерной модели для определения распределения электромагнитного поля СВЧ в зерновом слое:
1 – волновод; 2 – ёмкость для зерна

Медный волновод размером 45×90×550 мм вставлен в металлическую ёмкость для зерна. Торец волновода в ёмкости закрыт радиопрозрачным материалом. Такая длина волновода принята из соображения, что при необходимости на нём можно разместить ещё один источник излучения. Расстояние от этого торца волновода до стенки ёмкости составляет 75 мм, от боковых граней волновода до боковых стенок ёмкости – 30 мм. Порт источника излучения при моделировании расположен на расстоянии 488 мм от дальнего торца волновода. Заглушка, закрывающая волновод, установлена на расстоянии S длины волны частоты излучения магнетрона. Частота излучения магнетрона принята 2,45 ГГц. При моделировании вся ёмкость была заполнена зерном пшеницы влажностью 20%. Данное значение влажности рекомендовано для проведения тепловой обработки [12, 13].

Распределение электромагнитного поля внутри зернового слоя определяли по трём плоскостям: в открытом торце волновода – на расстояниях 0,5 мм и 65 мм; вдоль длинной стороны ёмкости – 10 мм от стены. Плоскости распределения поглощаемой зерном мощности показаны на рис. 1 красными линиями.

В экспериментальных исследованиях ставилась за-

дача выявить закономерности распределения температуры нагрева кормового зерна полем СВЧ на выходе прямоугольного волновода и оценить соответствие полученных данных нормативно-методическим требованиям температурной обработки кормового зерна.

Использовали стандартный волновод из меди сечением 45×90 мм и толщиной стенки 2,5 мм и магнетрон мощностью 950 Вт, генерирующий СВЧ-излучение частотой 2,45 ГГц, которое направляли через волновод в зерновой слой. Радиопрозрачная заглушка препятствует попаданию обрабатываемого зерна в волновод. Блок

питания с магнетроном и вентилятором охлаждения обеспечивал питание для магнетрона и поддержание его рабочей температуры (рис. 2).

Волновод вставляли в ёмкость из нержавеющей стали, засыпали зерно влажностью 20% и размещали датчики температуры (рис. 3).

Для измерения температуры зерна при воздействии на него поля СВЧ применялись волоконно-оптические датчики. Информация с датчиков автоматически записывалась в файл на компьютере.

Схема расположения датчиков температуры в ёмкости относительно её стенок и волновода представлена на

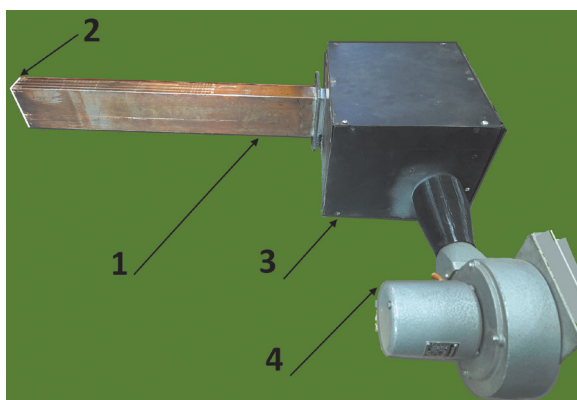


Рис. 2. Внешний вид системы подачи электромагнитного поля СВЧ в зерновой слой:

- 1 – волновод;
- 2 – заглушка волновода из радиопрозрачного материала;
- 3 – магнетрон с блоком питания;
- 4 – вентилятор для охлаждения магнетрона и блока питания

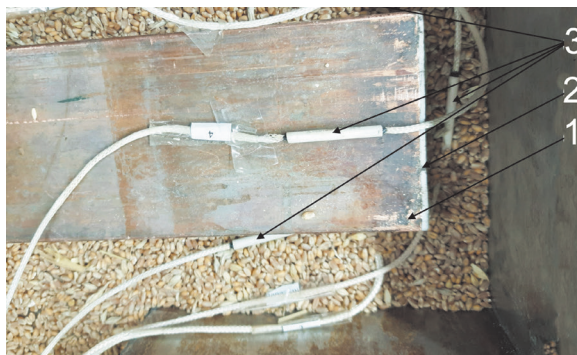


Рис. 3. Внешний вид волновода, зерна, датчиков температуры в ёмкости для зерна:

- 1 – волновод;
- 2 – радиопрозрачная заглушка волновода;
- 3 – датчики температуры

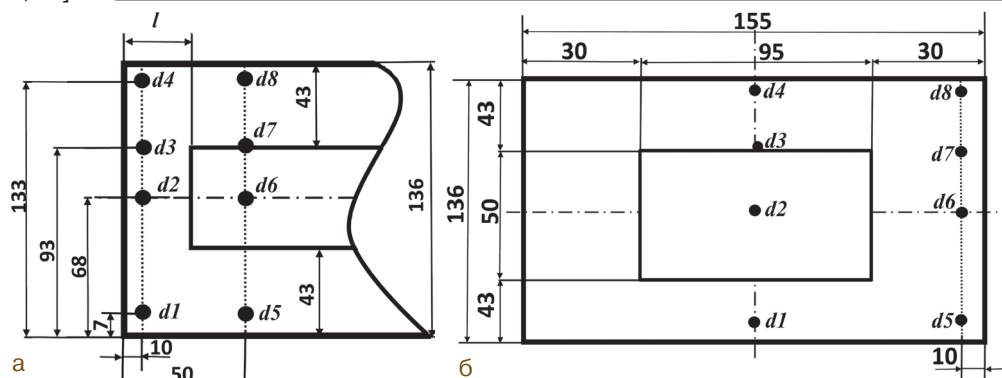


Рис. 4. Схема размещения датчиков температуры в ёмкости для зерна:
а – вид сбоку; б – вид слева

рис. 4. Датчики размещаются вокруг волновода таким образом, чтобы обеспечить равномерное покрытие зоны излучения.

При проведении эксперимента изменяли расстояние l от торца волновода до стенки ёмкости: 25, 50 и 75 мм. Полученные данные использовались для построения графиков.

Результаты исследований и обсуждение

Поглощаемую зерном мощность электромагнитного поля находили из выражения [14]

$$PowLD = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \left(\frac{P}{\alpha \cdot d} \cdot \frac{2}{\varepsilon_0 \cdot \sigma \cdot e^{-j\omega\mu\varepsilon}} \right)^2 \times \sigma \cdot \left(\varepsilon' - j \frac{\sigma}{\omega\varepsilon_0} \right). \quad (1)$$

где μ – магнитная проницаемость, Гн/м;

ε – диэлектрическая проницаемость;

ω – частота, рад/с;

σ – электропроводность зернового слоя, См/м;

ε' – действительная часть диэлектрической проницаемости (безразмерная величина);

ε_0 – электрическая постоянная, Ф/м;

P – мощность излучения, Вт;

α – коэффициент поглощения зерна, м⁻¹;

d – толщина зернового слоя, м.

Как видно из уравнения (1), поглощаемая зерном мощность электромагнитного поля при постоянной излучаемой мощности P зависит от электрофизических свойств зернового слоя и его толщины. Обрабатываемое микроволновым полем зерно на момент начала обработки имеет одинаковые электрофизические свойства по всему объёму ёмкости, поэтому поглощаемая зерном мощность будет зависеть от толщины обрабатываемого слоя. При моделировании процесса распределения электромагнитного поля в экспериментальной установке особое внимание обращали на размещение точек контроля.

В результате компьютерного моделирования получена диаграмма распределения поглощаемой удель-

ной мощности вдоль длинной стенки ёмкости на расстоянии 10 мм от нее (рис. 5).

При этом наблюдается существенная неравномерность распределения удельной поглощаемой мощности вдоль стенки ёмкости, а все ее значения гораздо меньше, чем у излучаемого торца волновода. Результаты моделирования позволяют сделать вывод, что использование прямоугольного волновода с излучающим торцом для тепловой СВЧ-обработки зерна не может обеспечить равномерный его нагрев по всему объёму ёмкости.

В соответствии с изложенной методикой проводились экспериментальные исследования по нагреву зерна в ёмкости от излучения поля СВЧ из прямоугольного волновода для трёх расстояний от торца волновода до стенки ёмкости: 25 мм; 50 мм; 75 мм. Кривые нагрева зерна представлены на рис. 6-7.

Из графиков на рис. 6 видно, что только в одной контрольной точке на расстоянии 15 мм от центра волновода (d2) температура достигла 250 °.

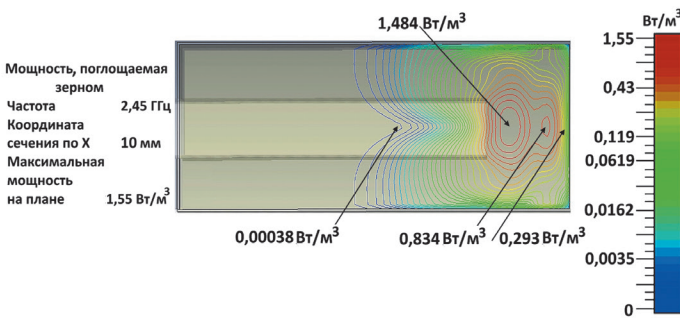


Рис. 5. Контурная диаграмма поглощаемой зерном удельной мощности вдоль длинной стенки ёмкости

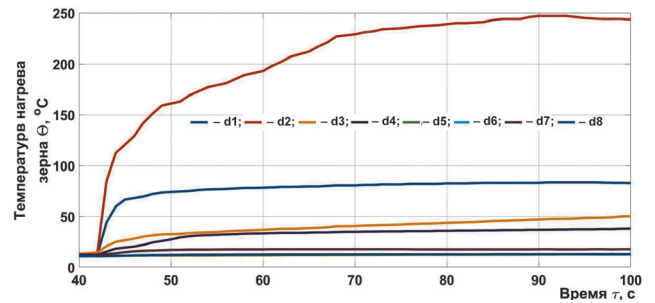


Рис. 6. Изменение температуры нагрева зерна в точках контроля при расстоянии от стенки ёмкости до торца волновода 25 мм

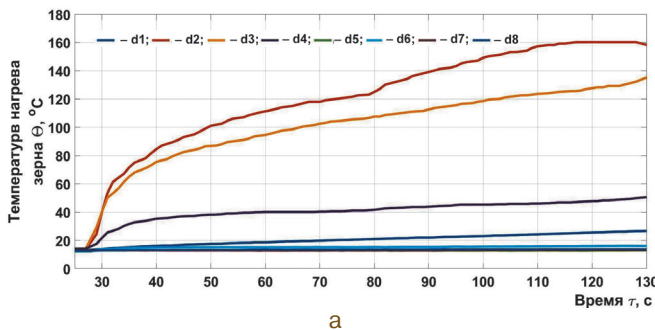


Рис. 7. Изменение температуры нагрева зерна в точках контроля при расстоянии от стенки ёмкости до торца волновода: а – 50 мм; б – 75 мм

По данным рис. 7а, через 120-130 с воздействия электромагнитного поля температура нагрева зерна приблизилась к 160 °С только в одной точке контроля (d2), что не позволит обработать кормовое зерно в соответствии с технологическими рекомендациями.

Изменение температуры нагрева (см. рис. 7б) позволяет сделать вывод, что расстояние 75 мм от торца волновода до стенки корпуса не обеспечивает нагрев зерна по всему объёму.

В точке контроля (d2) температура нагрева зерна достигает значения 250° только на расстоянии 25 мм от стенки ёмкости до торца волновода. В остальных точках температура не достигала требуемых значений. Даже при концентрированном излучении на выходе волновода мощности одного магнетрона недостаточно, чтобы в течение 130 с нагреть зерновой слой толщиной 50 мм до температуры 250°. Результаты экспериментальной проверки подтвердили результаты моделирования.

Выводы

1. В результате моделирования получены контурные диаграммы распределения электромагнитного поля СВЧ, излучаемого из торца прямоугольного волновода в зерновой слой. Установлено, что такой вариант подачи микроволнового поля не обеспечивает его равномерного распределения в зерновом слое.

2. Проведённые экспериментальные исследования подтвердили результаты компьютерного моделирования. Установлено, что нормативная температура нагрева зерна (250°) достигается только в одной точке контроля. При такой конструкции излучателя невозможно обеспечить равномерный нагрев обрабатываемого зерна. Кроме того, мощности одного магнетрона недостаточно, чтобы за 120 с нагреть слой зерна толщиной 50 мм до температуры 250°.

Список

использованных источников

1. Новикова В.А., Чарыков В.И., Копытин И.И. Прогрессивная технология подготовки фуражного зерна к скармливанию //

Приоритетные направления регионального развития. 2020. № С. 433-438.

2. Слезко Е.И., Гапонова В.Е. Влияние процесса экструдирования на питательные качества корма // Техника и технологии в животноводстве. 2021. № 1 (41). С. 66-70.

3. Čolović R. et al. Decontamination of mycotoxin-contaminated feedstuffs and compound feed // Toxins. 2019. Т. 11. №. 11. С. 617.

4. S6 A.G.A., Moreno Y.M.F., Carciofi B.A.M. Food processing for the improvement of plant proteins digestibility // Crit Rev Food Sci Nutr. 2020. № 20 (60). С. 3367-3386. doi:10.1080/10408398.2019.1688249.

5. Selection of optimal modes of heat treatment of grain / N. Serebryakova [и др.] // Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі : матер. II Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. (Мелітополь, 2-27 листопада 2020 р.). Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 20-24.

6. Taheri S., Brodie G.I., Gupta D. Microwave Heating for Grain Treatment // In book: Agritech: Innovative Agriculture Using Microwaves and Plasmas. 2022. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-3891-6_11.

7. Обработка семян зерновых культур в низкочастотном электромагнитном поле / Дорохов А.С., Чаплыгин М.Е., Аксенов А.Г., Шибряева Л.С., Блинов Н.Д., Чулков А.С., Подзорнов А.В. // С.-х. машины и технологии. 2023. Т. 17. № 4. С. 4-11.

8. Brodie G., Bootes N., Dunshea F., Leury B. Microwave Processing of Animal Feed // A Brief Review. Transactions of the ASABE. № 3(62). 2019. С. 705-717. DOI: 10.13031/trans.13266.

9. Собченко Ю.А., Омаров А.Н., Белов А.А. Проведение трехфакторного эксперимента по сверхвысокочастотной микронизации зерновых кормов // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2021. Т. 68, № 3(44). С. 116-123. DOI 10.22314/2658-4859-2021-68-3-116-123.

10. Иванилова Е.Э., Иванилова С.В. Использование программной среды CST MICROWAVE STUDIO для повышения экономической эффективности производства узкополосных волноводных полосно-пропускающих СВЧ-фильтров // Математическое и компьютерное моделирование в экономике, страховании и управлении рисками. 2021. № 6. С. 80-85.

11. Vasilyev AA, Vasilyev AN, Budnikov D. Using Modeling to Select the Type of Microwave Field Emitter for Dense-Layer Grain Dryers // Applied Sciences. 2023. № 13(16):9070. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/16/9070> <https://doi.org/10.3390/app13169070>.

12. Диденко А.Н. СВЧ-энергетика. Теория и практика. М. : Наука, 2003. 446 с.

13. Дринча В.М., Ценч Ю.С. Эволюция зерно-семяочистительной техники в России // С.-х. машины и технологии. 2021. Т. 15. № 1. С. 24-33. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-1-24-33.

14. Скубачевский А. А., Хохлов Н. И. Численное решение уравнений Максвелла для моделирования распространения электромагнитных волн // Тр. МФТИ. 2016. Т. 8. № 3. С. 121-130.

Study of the Possibility of Feed Grain Treatment with Microwave Radiation Through Rectangular Waveguides with an Open End

S.V. Osokin

(Nizhny Novgorod SEEU)

A.A. Vasiliev, D.A. Tikhomirov,

A.N. Vasiliev

(FGBNU FNATS VIM)

Summary. The article deals with the results of the study of the efficiency of feed grain treatment with microwaves (MW) using a rectangular waveguide. Computer modeling and experimental tests showed that this method of field supply is ineffective: the distribution of heating in the grain layer is uneven; the power of one magnetron is insufficient to achieve uniform heating of the grain up to 250°C.

Key words: feed grain, microwave field, waveguide, modeling, electromagnetic field, grain heating.



УДК 631.51:633.162

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-9-41-45

Экономическая эффективность инновационных технологий возделывания пивоваренного ячменя

А.И. Волков,канд. с.-х. наук, доц., зав. кафедрой,
alex-volkov@bk.ru**Л.Н. Прохорова,**канд. с.-х. наук,
lubashka-1502@mail.ru**К.С. Данилов,**kirilldanilov2k02@gmail.com
(ФГБОУ ВО МарГУ)

Аннотация. Представлен сравнительный агрономический, энергетический и экономический анализ современных технологий возделывания ярового пивоваренного ячменя в агроклиматических условиях Чувашской Республики. Для получения пивоваренного зерна высокого класса и увеличения рентабельности его производства целесообразным является применение традиционной агротехнологии, основанной на отвальной вспашке. Использование минимальной и нулевой технологий ухудшает качество ячменного зерна, снижая экономическую эффективность его возделывания на 1,3-4,4 %.

Ключевые слова: эффективность, технология, пивоваренный ячмень, зерно, урожайность, рентабельность.

Постановка проблемы

В настоящее время стремительное развитие сельскохозяйственного машиностроения стимулирует переход российских аграриев с традиционных технологий возделывания зерновых культур на ресурсо- и энергосберегающие, которые базируются на применении различных видов широкозахватных multifunctional почвообрабатывающих агрегатов и посевных комплексов [1, 2].

При непрерывно увеличивающихся ценах на ГСМ возможность экономии в аграрном производстве представляется особенно интересной. Как показывает практика, при традиционной вспашке отвальным плугом расход топлива в среднем варьируется от 17 до 22,5 л/га, при минимальной технологии обработки почвы – в пределах 4,5-9,4 л/га, а при нулевой – отсутствует.

В общем, при возделывании зерновых культур по нулевой технологии расход дизельного топлива не превышает 10 л/га, при минимальной – 25, а при традиционной технологии возделывания приближается к 50 л/га. Экономия трудового времени и рабочей силы при внедрении нулевой технологии достигает 60%, минимальной – 40% по сравнению с применением традиционной технологии соответственно [3]. В связи с этим все большей

популярностью в нашей стране пользуются минимальная (mini-till) и нулевая (no-till) технологии [4-6].

Данные агротехнологии хорошо зарекомендовали себя при возделывании озимой и яровой пшеницы, озимой ржи, фуражного ячменя, кукурузы на зерно и силос [7, 8]. В то же время малоизученным является вопрос влияния технологии возделывания на урожай и качество зерна пивоваренного ячменя.

Цель исследования – изучить экономическую эффективность инновационных технологий возделывания пивоваренного ячменя в почвенно-климатических условиях Чувашской Республики.

Материалы и методы исследования

Полевые опыты проводили в 2020-2022 гг. на средне-суглинистых серых лесных почвах. Различные погодные условия способствовали объективной оценке влияния агротехнологий на количественные и качественные показатели зерна пивоваренного ячменя. Объект изучения – районированный пивоваренный сорт Эльф.

Схема опыта

1. Традиционная технология (контроль) – осеннее дискование стерни яровой пшеницы на глубину 6-8 см, отвальная вспашка – на 20-22, ранневесеннее боронование – на 4-6, предпосевная культивация – на 6-8 см, посев, прикатывание посевов (БДМ-6 + ПЛН-5-35 + БЗСТ-1,0 + КПС-4 + СЗ-3,6 + ЗКВГ-1,4).

2. Минимальная технология (опыт 1) – осеннее дискование стерни яровой пшеницы на глубину 6-8 см, весенняя культивация – на 8-10 см тяжелым культиватором, посев multifunctional комплексом (БДМ-6 + Лидер + Cultibar 9000).

3. Нулевая технология (опыт 2) – осенняя обработка поля неселективным гербицидом сплошного действия Спрут Экстра (1,4 л/га), весенний «прямой» посев (ОМПШ-2500 Буран) + Cultibar 9000).

Посев осуществляли в первой декаде мая протравленными (Доспех-3 и Контадор Макси) семенами из расчета 200 кг/га с одновременным внесением комплексных минеральных удобрений ($N_{30}P_{20}K_{20}$). Уход за посевами включал в себя первую обработку полей баковой смесью гербицидов Примадонна и Гранат с аммиачной селитрой (10 кг/га) в фазе раннего кущения и вторую обработку в фазу колошения – фунгицидом Цимус Прогресс с инсектицидом Питомец. Уборку зерна проводили при полной его спелости в первой половине августа.

Математическую обработку результатов исследований осуществляли по Б.А. Доспехову [9]. Качественную оценку зерна проводили по ГОСТ 5060-86 «Ячмень пивоваренный. Технические условия» в 2020-2021 гг. и ГОСТ 5060-2021 «Ячмень пивоваренный. Технические условия» – в 2022 г. Энергетическую эффективность применяемых агротехнологий при возделывании пивоваренного ячменя определяли по методике Г.И. Рабочева [10]. Уровень рентабельности рассчитывали исходя из экономических данных за все годы исследований.

Визуальный осмотр опытных делянок позволил установить наличие дружных всходов ячменя на делянках с традиционной и минимальной технологиями возделывания на 8-9 день после посева. При нулевой технологии массовые всходы появлялись на 6-7 день. В дальнейшем во все годы исследования была выявлена положительная динамика ростовых процессов пивоваренного ячменя, возделываемого по традиционной, минимальной и нулевой технологиям.

Урожайность служит одним из главных показателей эффективности ведения растениеводства. В 2020 г. недостаток почвенной влаги в фазе налива зерна не позволил пивоваренному ячменю в полной мере реализовать свой продуктивный потенциал, а ненастная погода во время уборки существенно препятствовала сбору урожая. Наибольшая урожайность зерна (2,84 т/га) в 2020 г. была получена в варианте с традиционной технологией возделывания, а наименьшая (2,46 т/га) – с нулевой. Использование минимальной технологии позволило сформировать на 0,33 т/га зерна больше, чем при нулевой, но на 0,05 т/га меньше, чем при традиционной технологии (см. рисунок).

В 2021 г. длительное отсутствие осадков в фазах выхода в трубку и колошения растений вкупе с высокой температурой воздуха и почвы способствовали значительному недобору урожая. В данном засушливом году максимальная урожайность (1,61 т/га) была получена в варианте с нулевой технологией, а минимальная (1,12 т/га) – с традиционной. Мульча, сформированная на поверхности поля при нулевой технологии, во многом способствовала сохранению почвенной влаги и формированию максимальной продуктивности растений.

Равномерное распределение тепла и осадков в вегетационный период 2022 г. способствовало созданию благоприятных условий для получения наивысшей продуктивности пивоваренного ячменя. Наибольшая урожайность зерна (3,41 т/га) была получена в варианте с традиционной технологией возделывания, а наименьшая (2,96 т/га) – с нулевой. При минимальной технологии получено на 0,42 т/га зерна больше по сравнению нулевой технологией, но на 0,03 т/га меньше, чем при традиционной.

Результаты исследования свидетельствуют, что на урожайность пивоваренного ячменя достоверное влияние оказывает технология возделывания, но решающее значение принадлежит погодным условиям на протяжении вегетационного периода. В среднем за годы исследований наивысшая урожайность (2,49 т/га) пиво-

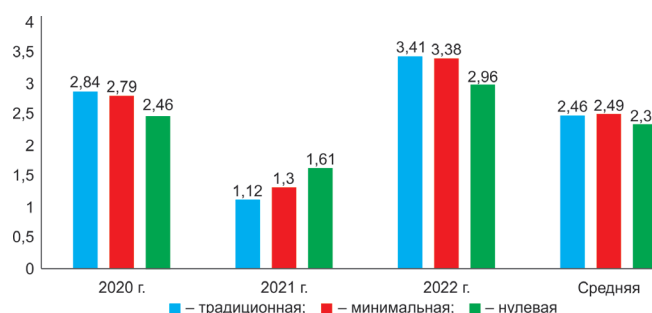
варенного ячменя отмечена в варианте с минимальной технологией возделывания, а наименьшая (2,34 т/га) – с нулевой. Средняя урожайность зерна при традиционной технологии уступала максимальному значению на 0,03 т/га, но достоверно превосходила наименьшее значение на 0,12 т/га. Согласно полученным экспериментальным данным, минимальная технология позволяет получать из года в год стабильные урожаи пивоваренного ячменного зерна на серых лесных почвах в климатических условиях Чувашской Республики.

В последние годы отечественные заготовители пивоваренного ячменя предъявляют все более высокие требования к зерну как к сырью, так как импорт зарубежного солода обходится довольно дорого, поэтому значительно дешевле его производить в нашей стране.

Экономическая эффективность процессов соложения и пивоварения в значительной степени зависит от качества полученного ячменного зерна, поэтому большое внимание следует уделить операциям по очистке и сушке зерновой массы. Предварительная и первичная очистка зернового вороха способствует снижению влажности свежесобранной зерновой массы, предупреждает самосогревание ячменного зерна и препятствует размножению микроорганизмов, предотвращая таким образом появление затхлого запаха и постороннего специфического привкуса, что особенно важно при последующей выработке продуктов для употребления в пищу, особенно при получении различных сортов пива.

Для пивоварения необходимо получать зерно с содержанием белка не более 12%. Высокая концентрация белка уменьшает количество крахмала и экстрактивность зерна. Высокобелковое стекловидное зерно хуже подвержено разрыхлению, быстро греется при производстве солода и, как следствие, дает менее прозрачное и стойкое пиво. В то же время зерно с концентрацией белка менее 8% не обеспечивает в полной мере пивные дрожжи белковым питанием, ухудшая процесс брожения. В результате полученное при некачественном брожении пиво не обладает стойкой пеной и не формирует необходимого вкуса и букета, присущего продукту.

В проведенных опытах к моменту уборки зерно пивоваренного ячменя на всех делянках было вызревшим, имело светло-желтый цвет и характерный запах. Своевременная послеуборочная обработка свежесобранного



Влияние агротехнологий на урожайность пивоваренного ячменя, т/га

зерна позволила довести его до товарных кондиций без особых усилий: уменьшить влажность убираемой прямым комбайнированием зерновой массы с 16-19% до требуемых стандартом 14-14,5%, снизить количество зерновой примеси до 2%, сорной – до 1%, повысить крупность фракции. Показатели качества пивоваренного ячменного зерна, полученного в ходе исследований, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Влияние агротехнологий на пивоваренные характеристики ячменного зерна
(в среднем за 2020-2022 гг.)

Показатели	Варианты		
	контроль	опыт 1	опыт 2
Массовая доля белка, %	11,4	11	10,1
Мелкие зерна, %	2,5	3,8	4,5
Крупность, %	92,5	87,2	85,5
Способность к прорастанию, %	96	93	91
Жизнеспособность, %	98	94	93

Результаты лабораторных исследований, представленные в табл. 1, свидетельствуют о том, что традиционная, минимальная и нулевая технологии возделывания пивоваренного ячменя на серых лесных почвах в погодноклиматических условиях Чувашской Республики вместе с умеренным применением азотных удобрений позволяют выдерживать данный показатель качества в регламентированных нормативно-технической документацией рамках.

Технология возделывания оказывала непосредственное влияние на крупность получаемого зерна. Крупностью называется отношение массы ячменного зерна, сошедшего с сита, имеющего продолговатые отверстия размером 2,5×20 мм, к общей массе анализируемой навески. Крупность выражается в процентах и является одним из нормируемых показателей при получении солода.

Применение в солодоращении пивоваренного ячменя с высоким процентным содержанием мелкого зерна и пониженной крупностью уменьшает выход готового солода из-за значительных потерь сухих веществ, что в конечном итоге отражается на качественных характеристиках готового продукта. Следовательно, использование в соложении большого количества мелкого зерна нецелесообразно как с технологической, так и с экономической точек зрения. Традиционная, минимальная и нулевая технологии возделывания пивоваренного ячменя позволяют получить зерно, отвечающее требованиям межгосударственного стандарта по таким показателям, как содержание мелких зерен и крупность партии.

Другим не менее важным показателем качества ячменного пивоваренного зерна является содержание мякины, или пленчатость. Пленчатость выше 9% считается избыточной. В этом случае снижается экстрактивность начального сусла, возрастает горечь пива, резко ухудшаются его вкусовые и ароматические показатели. Низкая пленчатость (менее 7%) зерна также отрицательно влияет на технологию производства, вкус, цвет и букет напитка. В размолом виде мякина является естественным фильтром, который удерживает выпадающий из сусла свернувшийся белок. В наших исследованиях

пленчатость ячменного зерна не зависела от агротехники возделывания, находившись в пределах 7,9-8,8 % во все годы исследований.

Для формирования лучших технологических свойств зерно пивоваренного ячменя должно отлежаться и дозреть в течение 1,5-2 месяцев после уборки. Следовательно, способность к прорастанию и жизнеспособность следует определять не ранее, чем через 45 дней после сбора урожая.

Для пивоварения экономически важным показателем является способность одновременно всех ячменных зерен прорасти на пятые сутки. Высокая энергия прорастания во многом определяется активностью ферментативной системы самой зерновки. При проращивании контролируют интенсивность и равномерность развития корешков и проростка. Оптимальным является проросток, который не превышает длину самой зерновки. Наличие большого количества удлиненных проростков, а также непроросших зерен уменьшает качественные характеристики вырабатываемого солода. Проращивание необходимо для того, чтобы крахмал, содержащийся в зерновке, полностью превратился в сахар. Это впоследствии увеличивает экстрактивность сусла и выход пива, а главное, обогащает вкусо-ароматические свойства готового к употреблению продукта.

Анализ способности прорастания зерен пивоваренного ячменя позволил выявить положительное влияние на данный показатель традиционной технологии возделывания перед минимальной и нулевой, что отразилось в наивысшем (96%) значении, которое на 3 и 5% превосходило другие анализируемые агротехнологии соответственно.

Аналогичная тенденция установлена и при выявлении жизнеспособности пивоваренных ячменных зерен. Зерновки, полученные при традиционной технологии возделывания, отличались максимальной жизнеспособностью (98%), а минимальная жизнеспособность (93%) была выявлена у зерновок при нулевой технологии возделывания.

Таким образом, пивоваренное зерно ячменя, полученное с использованием традиционной технологии, по качественным характеристикам соответствовало всем показателям 1-го класса для солодоращения, с применением минимальной технологии – 2-го класса, а с использованием нулевой технологии – 3-го класса, однако такое зерно не отвечает требованиям для солодоращения. В то же время полученное по нулевой технологии ячменное зерно можно использовать в пивоварении в качестве несоложенного сырья.

Энергетическую эффективность традиционной, минимальной и нулевой технологий возделывания пивоваренного ячменя определяли путем соотношения энергии, сформированной в урожае, к совокупным затратам техногенной энергии на его производство. Суммарные затраты техногенной энергии формировались из энергии, затрачиваемой на получение ГСМ, минеральных удобрений и средств защиты растений, а также количества энергозатрат антропогенного происхождения.

В среднем за годы исследований, независимо от технологии возделывания, в 1 кг зерна пивоваренного ячменя содержалось 12,89 МДж энергии, поэтому максимальное количество биологической энергии (32,1 ГДж/га) было сформировано на варианте с наивысшей средней урожайностью, которая была получена при минимальной технологии возделывания (табл. 2).

Таблица 2. Влияние агротехнологий на энергетические показатели производства пивоваренного ячменя (в среднем за 2020-2022 гг.)

Показатели	Варианты		
	контроль	опыт 1	опыт 2
Урожайность, т/га	2,46	2,49	2,34
Биологическая энергия урожая, ГДж/га	31,71	32,10	30,16
Затраты техногенной энергии, ГДж/га	15,92	14,85	13,65
Чистый энергетический доход, ГДж/га	15,79	17,25	16,51
Энергетическая себестоимость 1 т зерна, ГДж/га	6,47	5,96	5,83
Коэффициент энергетической эффективности	1,99	2,16	2,21

Минимальное количество биологической энергии урожая было получено при нулевой технологии возделывания (30,16 ГДж/га). Однако именно в этом варианте был получен наивысший (2,21) коэффициент энергетической эффективности, а наименьший (1,99) – в варианте с традиционной технологией возделывания. Объясняется это высокими затратами техногенной энергии, которые при использовании традиционной агротехнологии были в 1,06 и 1,16 раз больше, чем при минимальной и нулевой технологиях соответственно.

В целом с точки зрения энергетической эффективности в агроклиматических условиях Чувашской Республики наиболее целесообразным является возделывание пивоваренного ячменя по нулевой технологии.

Экономическая эффективность производства пивоваренного ячменя определяется его себестоимостью и ценой реализации. Себестоимость пивоваренного зерна складывается из материальных затрат на его получение и послеуборочную доработку (табл. 3).

Таблица 3. Структура затрат при различных технологиях возделывания пивоваренного ячменя (в среднем за 2020-2022 гг.)

Технология	Доля материальных затрат, %			
	основная обработка почвы	предпосевная подготовка и посев	внесение удобрений и защита растений	уборка и послеуборочная обработка зерна
Традиционная	29,0	18,6	13,9	38,5
Минимальная	12,8	28,3	18,8	40,1
Нулевая	–	22,1	34,3	43,6

Анализ структуры материальных затрат свидетельствует о том, что максимальная доля издержек независимо

от применяемой агротехнологии приходится на уборку зерна и доведение его до базисных кондиций для пивоварения. При возделывании пивоваренного ячменя по традиционной технологии наиболее дорогой и энергоемкой агротехнической операцией является вспашка. При минимальной технологии значительная доля издержек приходится на предпосевную подготовку почвы и посев, а при нулевой на передний план выходят затраты на внесение удобрений и средств защиты растений.

Цена реализации зависит от ряда факторов, ключевыми из которых являются валовый сбор зерна и его качество. Так, в 2020 г. цена реализации пивоваренного ячменного зерна 1-го класса не превышала 12 руб/кг, в 2021 г. – доходила до 17, а в 2022 г. – едва достигала 10 руб/кг. При этом цена реализации ячменного зерна 2-го и 3-го класса в среднем была ниже на 200-500 и 450-800 руб. соответственно, чем 1-го класса, что не могло не отразиться на рентабельности технологии возделывания.

В среднем максимальный уровень рентабельности производства зерна пивоваренного ячменя (22,3%) был получен при традиционной технологии возделывания, а минимальный (17,9%) – при нулевой технологии. Однако именно в этом варианте была получена самая низкая себестоимость производства единицы продукции (табл. 4).

Таблица 4. Влияние агротехнологий на рентабельность производства пивоваренного ячменя (в среднем за 2020-2022 гг.)

Технология	Себестоимость 1 т зерна, руб.	Цена реализации 1 т зерна, руб.	Прибыль, руб/т	Рентабельность, %
Традиционная	10630	13000	2370	22,3
Минимальная	10515	12725	2210	21
Нулевая	10380	12240	1860	17,9

Сравнительная (агрономическая, технологическая, энергетическая и экономическая) оценка свидетельствует о целесообразности применения традиционной технологии при возделывании пивоваренного ячменя на серых лесных почвах в климатических условиях Чувашской Республики для получения высококачественного зерна и повышения рентабельности его производства.

Выводы

1. Результаты исследования свидетельствуют, что на урожайность пивоваренного ячменя достоверное влияние оказывает технология возделывания. При этом решающее значение принадлежит погодным условиям. В среднем за 3 года наблюдений максимальная урожайность пивоваренного ячменя отмечена при минимальной технологии возделывания – 2,49 т/га, а наименьшая – при нулевой (2,34 т/га).

2. Качественные характеристики пивоваренного зерна, полученного по традиционной технологии, соответствовало всем показателям 1-го класса для солодоращения, с применением минимальной технологии – 2-го класса,

а с использованием нулевой технологии – 3-го класса (не пригодно для солодоращения).

3. Результаты сравнительной оценки (агрономической, технологической, энергетической и экономической) позволяют сделать вывод о целесообразности применения традиционной технологии при возделывании пивоваренного ячменя на серых лесных почвах в климатических условиях Чувашской Республики для получения высококачественного зерна, отвечающего требованиям нормативно-технической документации, и повышения рентабельности его производства.

Список использованных источников

1. Волков А.И., Прохорова Л.Н. Анализ технологий возделывания полевых культур в условиях Чувашии // Аграрная Россия. 2019. № 2. С. 3-7. doi: 10.30906/1999-5636-2019-2-3-7.
2. Skaalsveen K., Ingram J., Clarke L.E. The effect of no-till farming on the soil functions of water purification and retention in north-western Europe: A literature review // Soil Tillage Research. 2019. Vol. 189. P. 98-109.
3. Volkov A.I., Prokhorova L.N., Shabalin R.A. The prospects for no-till in the cultivation of corn for grain // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 677, Article number 052011. doi: 10.1088/1755-1315/677/5/052011.
4. Вольтерс И.А., Власова О.И., Передериева В.М., Дрепа Е.Б. Эффективность применения технологии прямого посева при возделывании полевых культур в засушливой зоне Центрального Предкавказья // Земледелие. 2020. № 3. С. 14-18. doi: 10.24411/0044-3913-2020-10303.
5. Полякова А.Н. Условия применения технологии no-till в производстве сельскохозяйственных культур / Modern Sci. 2021. № 3-2. С. 29-30.

6. Солонкин А.В., Болдырь Д.А., Селиванов В.Ю. No-till – начало освоения в острозасушливых условиях Волгоградской области // С.-х. журн. 2019. № 3(12). С. 31-37.

7. Женченко К.Г., Турин Е.Н., Гонгало А.А. Результаты изучения системы земледелия прямого посева (no-till) при выращивании озимой пшеницы в Центральной степи Крыма // Зерновое хоз-во России. 2020. № 5(71). С. 45.

8. Волков А.И., Прохорова Л.Н., Селюнин В.В. Изучение эффективности прямого посева зерновых культур в Чувашской Республике // Зерновое хоз-во России. 2023. Т. 15, № 1. С. 89-93. doi: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-89-93.

9. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 352 с.

10. Рабочев Г.И., Кутилкин В.Г., Рабочев А.Л. Биоэнергетическая оценка технологических процессов в растениеводстве. Самара, 2004. 112 с.

Economic Efficiency of Innovative Technologies for Cultivation of Malting Barley

A.I. Volkov, L.N. Prokhorova, K.S. Danilov
(Mari State University)

Summary. The article presents a comparative agronomic, energy and economic analysis of modern technologies for cultivating spring malting barley in the agroclimatic conditions of the Chuvash Republic. To obtain high-grade malting grain and increase the profitability of its production it is advisable to use traditional agricultural technology based on moldboard plowing. The use of minimum and zero technologies worsens the quality of barley grain reducing the economic efficiency of its cultivation by 1.3-4.4%.

Key words: efficiency, technology, malting barley, grain, yield, profitability.



ПротеинТек

Форум и экспо

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

Форум и выставка по производству и использованию кормовых протеинов и глубокой переработке высокобелковых культур

Форум является уникальным специализированным событием отрасли в России и СНГ и пройдет 25 сентября 2024 года в отеле Лесная Сафмар в Москве

Возможности для рекламы:

Выбор одного из спонсорских пакетов Форума позволит Вам заявить о своей компании, продукции и услугах, и стать лидером быстрорастущего рынка растительных и микробных протеинов.

УДК 631.3.02

DOI: 10.33267/2072-9642-2024-9-46-48

Опыт и экономическая эффективность изготовления запасных частей к зарубежной сельскохозяйственной технике на российских предприятиях

И.Г. Голубев,*д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотр.,
golubev@rosinformagrotech.ru***М.В. Дулясова,***канд. техн. наук, д-р экон. наук, проф.,
врио директора,
fgnu@rosinformagrotech.ru
(ФГБНУ «Росинформагротех»);***В.В. Быков,***д-р техн. наук, проф.,
wbykov@yandex.ru***М.И. Голубев,***канд. техн. наук, доц.,
m.i.golubev@mail.ru
(МГТУ им. Н.Э. Баумана,
Мытищинский филиал);***В.А. Шахов,***д-р техн. наук, проф., профессор кафедры,
shahov@ya.ru
(ФГБОУ ВО «Оренбургский ГАУ»)*

Аннотация. Обобщен опыт изготовления запасных частей к зарубежной сельскохозяйственной технике на российских предприятиях. Для повышения долговечности запасных частей применяют различные упрочняющие технологии. Выявлено, что для этих целей будут востребованы реверс-инжиниринг деталей и 3D-печать запасных частей. Себестоимость некоторых деталей, напечатанных на 3D-принтере, ниже зарубежных оригиналов в несколько раз.

Ключевые слова: импортная сельскохозяйственная техника, запасная часть, изготовление, реверс-инжиниринг, 3D-печать, опыт, экономическая эффективность.

Постановка проблемы

По состоянию на 1 января 2024 г. органами Ростехнадзора зарегистрировано 383,3 тыс. тракторов, 133,4 тыс. зерноуборочных и 12,3 тыс. кормоуборочных комбайнов. По данным субъектов Российской Федерации, в 2023 г. сельскохозяйственными товаропроизводителями приобретено зерно- и кормоуборочных комбайнов меньше, чем

в 2022 г., соответственно на 12,1 и 3,9%. Снижение темпов обновления парка этих машин во многом связано с уходом основных брендов производителей сельскохозяйственного машиностроения с территории Российской Федерации (John Deere, New Holland и др.), нарушением логистических цепочек поставки сельскохозяйственных машин, оборудования и запасных частей к ним в связи с наложенными ограничениями недружественных стран в отношении Российской Федерации. Большая импортозависимость существует по таким видам сельскохозяйственных машин и оборудования, как свеклоуборочные комбайны и свеклопогрузчики [1].

В 2023 г. доля зарубежной сельскохозяйственной техники на российском рынке составляла 39%, отечественной – 61%. По прогнозам специалистов Минпромторга России, доля отечественной сельхозтехники к 2035 г. должна значительно увеличиться. Ожидается, что в нацпроект «Технологическое обеспечение продовольственной безопасности» войдут 8 федеральных проектов, в том числе «Техническая и технологическая независимость в сельскохозяйственном машиностроении», в котором заложен план роста доли новой отечественной техники в общем парке к 2030 г.: по тракторам – до 40% (в 2023 г. – 22%), комбайнам – до 42% (25%). Долю нового парка в общем количестве планируется довести до 25% по сеялкам (с 8,5%), плугам (с 8,1%) и культиваторам (с 9%) и до 30% – по опрыскивателям (с 13%).

Росту объемов производства отечественной сельскохозяйственной техники будут способствовать различные меры государственной поддержки ее производителей, механизмы Росагролизинга и льготного кредитования [2].

Однако у российских сельских товаропроизводителей в эксплуатации находится большой парк импортной техники. В настоящее время некоторые виды комплектующих и запасных частей в России вообще не производятся и завозятся в количестве, не позволяющем удовлетворить внутренний спрос [3]. В сложившейся ситуации дефицита импортных деталей и комплектующих одним из направлений решения этой проблемы является изготовление их на российских предприятиях [4, 5].

Цель исследования – на основе анализа процессов импортозамещения комплектующих и запасных частей сельскохозяйственной техники в Российской Федерации в условиях санкций обобщить опыт по их изготовлению на российских предприятиях.

Материалы и методы исследования

При анализе использовались сведения органов государственного надзора за техническим состоянием самоходных машин и других видов техники (гостехнадзор), данные ведомственной отчетности Минсельхоза России и органов управления АПК субъектов Российской Федерации, статистические данные Федеральной службы государственной статистики, Ассоциации «Росспецмаш».

Для выявления и оценки информации о процессах импортозамещения использовались данные, доступные в открытом информационном поле интернет-ресурсов предприятий-изготовителей запасных частей и комплектующих зарубежной сельскохозяйственной техники, научных организаций, аграрных маркетплейсов «Поле.рф», «Авито», «АгроСервер.ру», «Тендер-Про», «Агро.ру», издания «Агроинвестор» и др.

Результаты исследований и обсуждение

В условиях санкционного давления на экономику России многие крупнейшие мировые бренды в части производства сельскохозяйственной техники и запасных частей покинули российский рынок. До 2022 г. 50% российского рынка сельхозтехники составляли машины крупных трансконтинентальных брендов (John Deere, CNH, AGCO и CLAAS), на долю которых приходилось 40 % мирового рынка сельхозтехники [6]. По данным экспертов «Росспецмаш», доля импортозамещения комплектующих

различается в зависимости от вида сельскохозяйственной техники. Высокая зависимость наблюдается в сегменте тормозных систем, гидравлики, подшипников, электрики, двигателей [7].

В рамках импортозамещения в России уже наметилась тенденция изготовления запасных частей для зарубежной сельскохозяйственной техники по чертежам их деталей. По данным «Тендер-Про», в первом квартале 2023 г. по сравнению с аналогичным периодом 2022 г. спрос на такие детали вырос на 30 % [8, 9]. Многие крупные и небольшие предприятия начали организовывать

производства запасных частей для зарубежной сельскохозяйственной техники в России. Для повышения качества запчастей эти производства оснащаются современным оборудованием, применяют различные упрочняющие технологии. При этом стоимость производимых аналогов ниже оригинальных на 200 % и более [10]. Обобщен опыт некоторых предприятий, которые занимаются изготовлением запасных частей и комплектующих для зарубежной сельскохозяйственной техники (табл. 1).

Большой опыт российские предприятия накопили по изготовлению рабочих органов для зарубежной почвообрабатывающей техники, в том числе лап культиваторов. Для увеличения их ресурса применяют плазменную наплавку порошковых материалов, химическое нанесение твердых сплавов на лезвие, термодиффузионное плакирование с направленной кристаллизацией [11]. Перечень некоторых российских предприятий, изготавливающих рабочие органы для зарубежной почвообрабатывающей техники, дан в табл. 2.

Однако на многие детали зарубежных машин отсутствует конструкторская документация. Важнейшим инструментом для решения этих проблем является реверс-инжиниринг деталей и комплектующих зарубежной техники. На основе реверс-инжиниринга можно получить как 3D-модели, так и рабочие чертежи деталей для их изготовления [4]. Например, группа компаний «Агро Эко» с 2010 г. занимается реверс-инжинирингом и производством запасных частей для техники зарубежных производителей Kverneland, Vaderstad, Amazone, John Deere и др. К 3D-сканированию при изготовлении аналоговых запчастей прибегают в компании ZorgService [10].

Большой объем научно-исследовательских работ по реверс-инжинирингу деталей сельскохозяйственной техники и оборудования проводят в ФНАЦ ВИМ [12].

Важным направлением решения задач импортозамещения запасных частей для зарубежной сельскохозяйственной техники является 3D-печать деталей [4, 12]. Компания «Дельта 3D» по такой технологии изготавливает зубчатые колеса, втулки, муфты и другие детали. В агрохолдинге «СТЕПЬ» 3D-печать ис-

Таблица 1. Перечень предприятий, выпускающих запасные части и комплектующие для зарубежной сельскохозяйственной техники

Предприятие	Номенклатура деталей и комплектующих
ООО ПО «Агротех»	Запасные части для зарубежной сельскохозяйственной техники фирмы John Deere
ООО «Агри Партс Рус»	Запасные части для зарубежной сельскохозяйственной техники фирм: Claas, New Holland, John Deere
ГК «Агро Эко»	Запасные части для зарубежной сельскохозяйственной техники фирм: Kverneland, Vaderstad, Amazone, John Deere и др.
ГК «Терра Групп»	Запасные части для зарубежной сельскохозяйственной техники фирм: Amazone, Vaderstad, Kverneland, Gaspardo, Gregoire Besson, John Deere, Lemken, Horsch, Kuhn и др.
Компания ООО «ФЕРРО»	Запасные части детали для тракторов John Deere
Барнаульский завод пресового оборудования	Производство колесных дисков для тракторов и комбайнов
Алтайский завод прецизионных изделий	Форсунки и распылители концерна BOSCH
Компания Agrobau	Запасные части для зарубежной сельскохозяйственной техники фирм Kverneland и Amazone
ООО «АГРОПЛИУС»	Запасные части для зарубежной сельскохозяйственной техники производителей: Lemken, WIC, Amazone, John Deere, Case, Great Plains, Massey Ferguson, Gaspardo, Kverneland, Wil-Rich
ООО «АгроПромышленное Обеспечение»	Запасные части для зарубежной сельскохозяйственной техники производителей: Lemken, Amazone, Kverneland, Great Plains, Gaspardo, Gregoire Besson, Vaderstad, Sunflower, Morris, Salford
ООО «Агротех-Липецк»	Запасные части для посевной и почвообрабатывающей техники фирмы Horsch
ООО «Кормилец-Агро»	Запасные части для зарубежной сельскохозяйственной техники производителей: Amazone, Vaderstad, AGCO, Gaspardo, Gregoire Besson, John Deere, Lemken, Horsch, Salford, Ropa и др.
Производственный холдинг «Кингисеппский машиностроительный завод»	Запасные части для двигателей Cummins (топливные системы, генераторы, системы фильтрации и очистки воздуха, а также контроля и автоматики)
ООО «СПЕЦСТРОЙ»	Изготовление звездочек для пресс-подборщиков фирмы CLAAS, шлицевых валов для тракторов компании JCB
ООО «НПП «Валок»	Стрельчатые упрочненные лапы, аналоги брендов: KPH, Wil-Rich, John Deere, Horsch, Morris, Bougault, Salford. Глубококорытелители, лемехи, плуги, долота, чизели: Lemken, Gregoire Besson, Vogel&Noot, Amazone, Horsch, Kuhn, Flexi Coil, Kverneland и др.
Компания Fores Technologies	Изготовление комплектующих для лесозаготовительной, дорожно-строительной и сельскохозяйственной техники PONSSE, Logset, LogMax, Loglift, Epsilon, John Deere и др.
ИП Метлин Александр Евгеньевич	Изготовление ведомых шестерней валцов зерноплющилки CP1 little ROMill

Таблица 2. Перечень предприятий, изготавливающих рабочие органы для зарубежной почвообрабатывающей техники

Предприятие	Номенклатура	Упрочняющая технология	Применимость
ООО «Гранит Агро»	Культиваторные лапы Гранит	Плазменная наплавка материалом ПП-Нп-150Х1032ФТ-Н-С-2.0	Посевные комплексы John Deere 1820; John Deere 1830; NICHOLS TILLAGE TOOLS 47UW10B7; культиваторы Sunflower, Salford, Wil-Rich, John Deere, Landol
ООО «Научно-производственное предприятие «Валок»	Лапы сеялок, культиваторов, долота глубокорыхлителей	Плазменно-порошковая наплавка	Почвообрабатывающая техника John Deere, Salford, Case, Wil-Rich, Great Plains, Hesston, Landoll и др.
Компания SKR	Культиваторные лапы	Технология химического нанесения твердых сплавов	Культиваторы Solar Fields, Tillermaster
АО «Алтайский научно-исследовательский институт технологий машиностроения»	Культиваторные лапы, диски для сеялок и посевных комплексов	Технология термомоноконтактного плакирования с направленной кристаллизацией	Культиваторы Kusto Tillermaster, сеялки и посевные комплексы Bourgault

пользуют для изготовления датчиков мониторинга уровня зерна для уборочных машин. Собственное производство деталей позволяет почти в 4 раза сократить затраты на их приобретение.

В СПК «Коелгинское им. Шундева И.Н.» Челябинской области наладили 3D-печать муфты вакуумных насосов (производства Германии) для соединения их с электродвигателями. Это позволяет сократить расходы на приобретение оригинальной муфты в 25 раз, а втулки привода высевающего аппарата посевного комплекса (производства Канады) – в 10 раз На молочном предприятии в Еткульском районе Челябинской области себестоимость муфты для вакуумного насоса, напечатанная на 3D-принтере, оказалась дешевле импортной в 10 раз [10].

Выводы

1. Многие российские предприятия начали организовывать производства запасных частей для зарубежной сельскохозяйственной техники, для повышения качества которых их оснащают современным оборудованием и используют различные упрочняющие технологии. При этом себестоимость производимых аналогов значительно ниже оригинальных.

2. В рамках импортозамещения отечественные предприятия накопили большой опыт по изготовлению рабочих органов зарубежной почвообрабатывающей техники. Для увеличения ресурса

деталей широко применяют плазменную наплавку порошковых материалов, химическое нанесение твердых сплавов на лезвие, термомоноконтактное плакирование с направленной кристаллизацией.

3. Перспективными направлениями в импортозамещении запасных частей является реверс-инжиниринг и 3D-печать деталей. Использование этих технологий позволяет сократить сроки и затраты на изготовление запасных частей.

Список использованных источников

1. Бурак П.И., Голубев И.Г. Анализ динамики обновления парка сельскохозяйственной техники // Техника и оборудование для села. 2024. № 7. С. 23-26.

2. Бурак П.И., Голубев И.Г. Обновление парка сельскохозяйственной техники в рамках ведомственного проекта «Техническая модернизация агропромышленного комплекса» // Техника и оборудование для села. 2023. № 7 (313). С. 2-7.

3. Клейменова Ю.А., Баяндурян Г.Л. Особенности развития сельскохозяйственного машиностроения в условиях современного санкционного давления // Аграрная наука. 2024. 379(2). С. 133-138.

4. Голубев И.Г., Апатенко А.С., Севрюгина Н.С., Быков В.В., Голубев М.И. Перспективные направления использования аддитивных технологий в ремонтном производстве // Техника и оборудование для села. 2023. № 6. С. 35-38.

5. Руденко М.Н., Мулькова А.А. Перспективы импортозамещения сельскохозяйственной техники в агропромышленном комплексе // Экон. безопасность. 2024. Т. 7. № 5. С. 1257-1270.

6. Кушникова Е. А. Импортозамещение сельхозтехники и запасных частей:

проблемы и перспективы рынка /// Валютное регулирование. Валютный контроль. 2024. № 4. С. 41-50.

7. Эксперты «Росспецмаш» обратили внимание на проблему производства комплектующих для сельхозтехники [Электронный ресурс]. //https://xn--e1alid.xn--p1ai/journal/publication/eksperty-rosspecmash-obratili-vnimanie-na-problemu-proizvodstva-komplektuushchikh-dlya-selkhoztekhniki/ (дата обращения: 10.08.2024).

8. Ерошевич А.Н. Процессы импортозамещения сельскохозяйственной техники и комплектующих // Вест. Алтайской академии экономики и права. № 3. 2024. С. 194-197.

9. Мухамедиев И. Аграрии запасаются частями [Электронный ресурс]. URL: https://www.agroinvestor.ru/tech/article/40251agrarii-zapasayutsya-zapchastymi-chego-ozhidat-selkhozproizvoditelyam-s-postavkami-komplektuyushchi/ (дата обращения: 11.08.2024).

10. Запчасти для сельхозтехники: от простого копирования до 3D-печати [Электронный ресурс]. URL: https://поле.пф/journal/publication/4687?ysclid=iz7169oyn33201169 (дата обращения: 30.07.2024).

11. Голубев И.Г., Быков В.В., Голубев М.И. Изготовление рабочих органов зарубежной почвообрабатывающей техники на российских предприятиях // Современные проблемы энергоэффективности агроинженерных исследований в условиях цифровой трансформации: матер. Междунар. науч.-практ. конф. Балашиха: ФГБОУ ВО РГУНХ им. В.И. Вернадского, 2024. С. 5-8.

12. Катаев Ю.В., Гончарова Ю.А., Свиридов А.С., Тужилин С.П. Применение технологий 3D-печати и 3D-сканирования при изготовлении и ремонте сельскохозяйственной техники // Техника и оборудование для села. 2023. № 1 (307). С. 34-38.

Experience and Economic Efficiency of Manufacturing Spare Parts for Foreign Agricultural Machinery at Russian Enterprises

I.G. Goloubev, M.V. Dulyasova (FGBNU "Rosinformagrotech")
V.V. Bykov, M.I. Goloubev (Bauman Moscow State Technical University, Mytishchi branch)
V.A. Shakhov (Orenburg State Agrarian University)

Summary. The best practices of manufacturing spare parts for foreign agricultural machinery at Russian enterprises are summarized. Various strengthening technologies are used to increase the durability of spare parts. It is revealed that reverse engineering of parts and 3D printing of spare parts will be in demand for these purposes. The cost price of some parts printed on a 3D printer is several times lower than foreign originals.

Key words: imported agricultural machinery, spare part, manufacturing, reverse engineering, 3D printing, experience, economic efficiency.