



НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ  
Республиканское унитарное предприятие  
«Научно-практический центр  
Национальной академии наук Беларуси  
по механизации сельского хозяйства»

# **И МЕХАНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

Межведомственный тематический сборник  
*Основан в 1968 году*

**Выпуск 58**

Минск  
«Беларуская навука»  
2025

УДК [631.171+633/635+636]:631.152.2(085)

В сборнике опубликованы основные результаты исследований по разработке инновационных технологий и технических средств для их реализации при производстве продукции растениеводства и животноводства, рассмотрены вопросы технического сервиса машин и оборудования, использования топливно-энергетических ресурсов, разработки и применения энергосберегающих технологий, электрификации и автоматизации, информационно-управляющих систем в технологиях АПК.

Материалы сборника могут быть использованы сотрудниками НИИ, КБ, специалистами хозяйств, студентами вузов и колледжей аграрного профиля.

***Редакционная коллегия:***

*доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси*

П. П. Казакевич (председатель);

*кандидат технических наук, доцент*

Д. И. Комлач (зам. председателя);

*доктор технических наук, доцент, член-корреспондент НАН Беларуси*

В. В. Азаренко;

*доктора технических наук, профессора, академики РАН*

Н. М. Морозов, Я. П. Лобачевский (Российская Федерация);

*доктора технических наук, профессора*

В. И. Передня, Л. Я. Степук;

*кандидаты технических наук, доценты*

Н. Г. Бакач, А. Н. Перепечаев, В. К. Клыбик, Н. Д. Лепешкин, Э. В. Дыба, А. Н. Юрин,

В. В. Голдыбан, Н. Ф. Капустин

***Рецензенты:***

*кандидаты технических наук, доценты*

Н. Г. Бакач, А. Н. Перепечаев, Э. В. Дыба, А. А. Жешко, Н. Ф. Капустин, В. К. Клыбик,

Н. Д. Лепешкин, В. В. Микульский, А. Н. Юрин;

*кандидат технических наук* П. П. Бегун; В. И. Володкевич

Приказом Председателя ВАК Республики Беларусь от 4 июля 2005 года № 101 межведомственный тематический сборник «Механизация и электрификация сельского хозяйства» (РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства») включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим наукам.

© РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации  
сельского хозяйства», 2025

© Оформление. РУП «Издательский дом  
«Беларуская навука», 2025

**В. П. Селиванова, В. В. Голдыбан, Д. И. Комлач**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: labpotato@mail.ru*

## **АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОНОМНЫХ МОБИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

*Аннотация.* Данная статья рассматривает актуальность разработки автономных мобильных агрегатов для сельского хозяйства для использования их в процессе внесения пестицидов. С учетом увеличения численности населения и сокращения числа занятых в аграрном секторе, автоматизация процессов становится необходимостью для повышения эффективности производства. В статье также затрагивается вопрос о повышении привлекательности сельского хозяйства среди молодежи благодаря внедрению современных технологий. Приведены статистические данные, иллюстрирующие актуальность и важность данной темы.

*Ключевые слова:* автономный мобильный агрегат, средства защиты растений, точное земледелие, пестициды, автоматизация, численность населения.

**V. P. Selivanova, V. V. Goldyban, D. I. Komlach**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: labpotato@mail.ru*

## **RELEVANCE OF APPLICATION OF AUTONOMOUS MOBILE UNITS IN AGRICULTURE OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

*Abstract.* This paper examines the relevance of the development of autonomous mobile units for agriculture for use in pesticide application. Given the increasing population and decreasing number of people employed in the agricultural sector, automation of processes becomes a necessity to improve production efficiency. The article also touches upon the issue of increasing the attractiveness of agriculture among young people due to the introduction of modern technologies. Statistical data illustrating the relevance and importance of this topic are given.

*Keywords:* autonomous mobile unit, crop protection products, precision agriculture, pesticides, automation, population growth.

### **Введение**

В последние десятилетия численность населения в мире стремительно растет, что увеличивает нагрузку на сельскохозяйственный сектор. По данным ООН, в 2023 г. население Земли превысило 8 млрд человек, а к 2050 г. этот показатель может достичь 9,7 млрд. График, разработанный ООН, представлен на рисунке 1. При этом наблюдается устойчивое сокращение аграрного населения и старение рабочей силы в сельском хозяйстве. Согласно отчетам Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO), к 2050 г. численность людей, занятых в аграрном секторе, может снизиться более чем на 20 %. В этой связи одной из главных задач становится разработка решений, способных поддерживать и повышать производительность сельского хозяйства.

Проблема перенаселения приводит к росту спроса на различные виды ресурсов, что со временем приведет к их истощению. Согласно данным FAO [1], для поддержания уровня обеспечения растущего населения сельскохозяйственной продукцией требуется увеличение эффективности сельскохозяйственного производства более чем на 60 %.

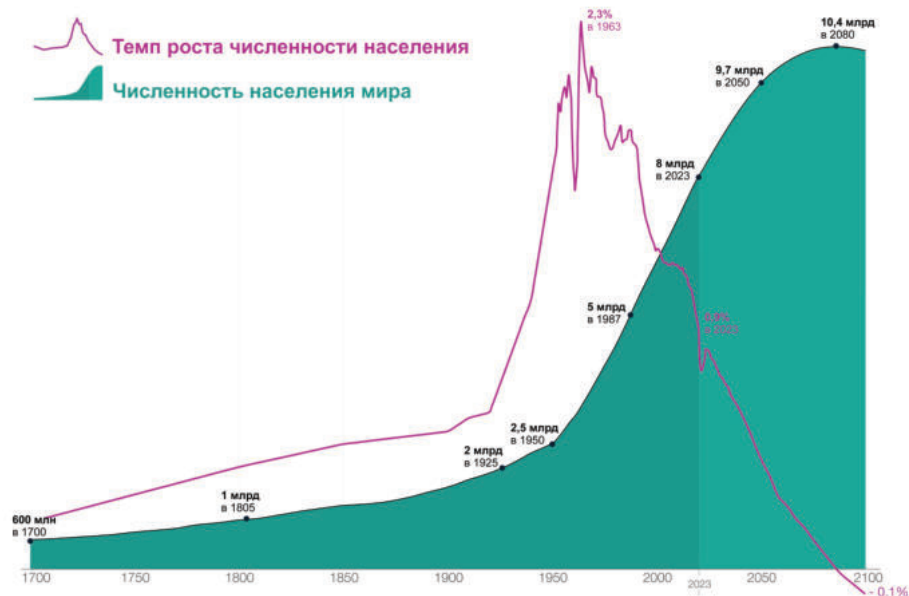


Рисунок 1 – График роста численности населения мира по данным ООН

Сельское хозяйство, как традиционная отрасль, сталкивается с проблемой низкой привлекательности среди молодых специалистов. Большинство молодых людей предпочитает работу в технологически развитых отраслях, что усугубляет нехватку рабочей силы в аграрном секторе. В этой связи внедрение современных автономных технологий может сыграть важную роль в повышении интереса молодежи к сельскому хозяйству.

Актуальность исследований вопроса разработки и внедрения автономных мобильных агрегатов в аграрно-промышленный комплекс Республики Беларусь подтверждается соответствием темы исследований перечню приоритетных направлений научно-технической деятельности на 2021–2025 гг. [2].

## Основная часть

С увеличением численности населения возникает необходимость в более эффективном производстве сельскохозяйственной продукции. Однако сокращение числа работников сельскохозяйственного сектора создает дефицит рабочей силы. В 2022 г. Всемирный банк сообщил, что доля людей, занятых в сельском хозяйстве, снизилась до 27 % от общего числа занятых по сравнению с 35 % в 2000 г. Этот тренд наблюдается в странах с различным уровнем экономического развития, что требует инновационных решений для поддержания роста сельского хозяйства на фоне демографических изменений.

Общие мировые тенденции, связанные с уменьшением численности сельского населения, присущи и для нашей страны. Снижение численности сельского населения в Республике Беларусь является результатом сложного взаимодействия демографических, экономических, социальных и экологических факторов, наблюдаемых на протяжении последних десятилетий. Ключевые причины этого явления и их взаимосвязь с процессами урбанизации, старения населения, трансформации аграрного сектора и изменениями в социальной структуре общества будут рассмотрены далее. В соответствии с данными Национального статистического комитета Республики Беларусь [3] прослеживается тенденция стабильного снижения численности сельского населения ежегодно. Графическое отображение процентного соотношения городского и сельского населения в республике представлено на рисунке 2.

Сельское хозяйство является одной из основных отраслей промышленности Республики Беларусь. Несмотря на данный факт, согласно статистическим данным в сельском хозяйстве задействовано только порядка 7 % занятых.



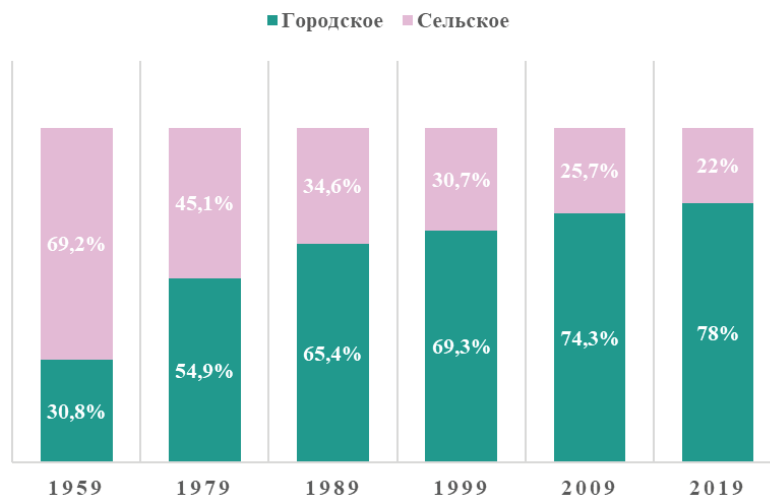


Рисунок 2 – Процентное соотношение городского и сельского населения в Республике Беларусь

Одной из основных причин сокращения численности сельского населения в Беларуси является интенсивный миграционный отток населения в города, вызванный процессами урбанизации. Согласно данным Белстата, уровень урбанизации в стране продолжает расти, что связано с несколькими факторами, которые представлены далее.

**Экономические стимулы.** Столица и областные центры предоставляют более широкий спектр трудовых возможностей, особенно в промышленности, сфере услуг, информационных технологиях и других высокотехнологичных отраслях. Молодежь и трудоспособные граждане, стремясь к улучшению экономического положения, покидают сельскую местность, где возможности трудоустройства ограничены в основном сельскохозяйственным сектором и сопутствующими отраслями.

**Доступ к качественным социальным услугам.** В городах значительно выше доступность и качество медицинских услуг, образовательных учреждений и других социальных институтов. В сельской местности часто наблюдаются проблемы с доступом к этим услугам, что также способствует миграции в города.

**Уровень жизни и инфраструктура.** Городская среда характеризуется более развитой инфраструктурой, включая транспортную систему, коммунальные услуги и культурные объекты, что делает ее более привлекательной для проживания, особенно для молодых семей.

Тенденция к миграции сельского населения в городскую среду несет за собой ряд негативных последствий для сельской местности и сельскохозяйственной промышленности. Ввиду отсутствия заинтересованности молодежи в работе в аграрном секторе, демографическая структура сельских районов смещается в сторону старения, что снижает общий уровень рождаемости и увеличивает долю пожилых людей в сельских населенных пунктах. Общее повышение среднего возраста сельского населения влечет за собой проблему снижения рождаемости.

Сокращение числа новых рабочих мест в сфере сельского хозяйства может быть связано с восприятием фермерства как карьеры с нестабильным доходом, особенно для молодых специалистов. Работа в сфере сельского хозяйства сопряжена с зависимостью видов и объемов проводимых работ от сезонности. Так, в теплое время года деятельность включает в себя большое количество полевых работ, что физически тяжело. На рисунке 3 представлен график численности работников, занятых в сельском хозяйстве.

Таким образом, для создания притока рабочей силы в агропромышленный сектор среди молодежи необходимо обеспечить, помимо базовых социальных и материальных гарантий, также возможность интеллектуального развития и взаимодействия с современными технологиями в процессе работы. Внедрение элементов автоматизации в физически тяжелые процессы в сельском хозяйстве позволит повысить привлекательность условий работы среди разных половозрастных групп населения.

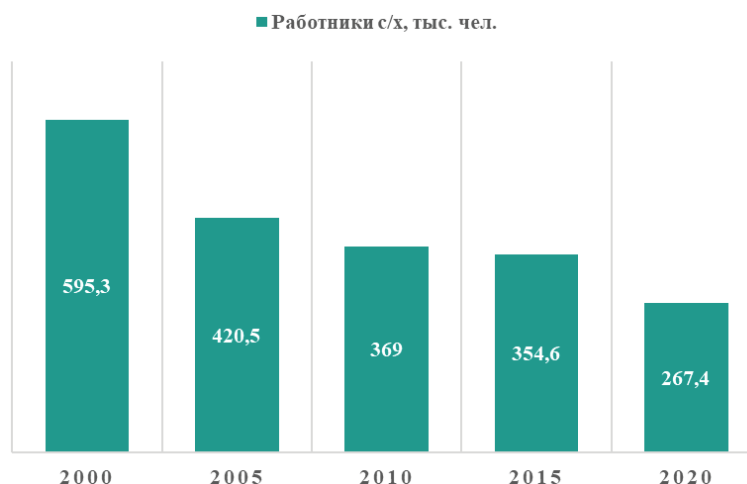


Рисунок 3 – Численность работников, занятых в сельском хозяйстве Республики Беларусь

Автономные мобильные агрегаты для сельского хозяйства могут быть применены в качестве помощи или полной замены при выполнении физически тяжелых и монотонных работ, таких как посев, прополка, внесение удобрений или СХЗР и сбор урожая. Внедрение инновационных технологий точного земледелия позволит освободить работников от тяжелой сельскохозяйственной деятельности, предоставив им возможность сосредоточиться на качестве своей жизни.

Также стоит учесть, что традиционное сельское хозяйство часто полагается на накопленный опыт работников, что не способствует участию в основной деятельности молодых людей, которые не имеют достаточного опыта и отработанных инструментов методологии в сельском хозяйстве. Технологии точного земледелия, в свою очередь, базируются на непосредственно собранных данных. Для этих целей существует отдельная категория автономных мобильных агрегатов для сельского хозяйства, основной функцией которых является мониторинг состояния посевов и сбор различных типов данных в полевых условиях. Точное земледелие основано на преобразовании абстрактных явлений в описываемые, вычисляемые данные, что является благоприятной почвой для обучения молодых специалистов и устранения недостатка личного опыта. Также следует отметить, что наличие массива данных качественных и количественных характеристик состояния посевов является неотъемлемой составляющей базы для проведения научных и научно-технических исследований.

Внедрение автономных мобильных агрегатов в сельское хозяйство Республики Беларусь представляет собой значительную перспективу с точки зрения повышения производительности и эффективности аграрного сектора, адаптации к демографическим изменениям и ускорения технологической модернизации отрасли. Современные мировые тенденции в сельском хозяйстве указывают на необходимость интеграции инновационных технологий для обеспечения устойчивого роста производства, рационального использования ресурсов и уменьшения влияния человеческого фактора на производственные процессы. Для Беларуси это особенно актуально в условиях сложной демографической ситуации, сокращения сельского населения и постепенного старения рабочей силы.

Внедрение автономных мобильных агрегатов, таких, например, как роботизированные платформы для обработки почвы, посева, ухода за растениями и сбора урожая, способно коренным образом изменить текущую систему сельскохозяйственного производства. Во-первых, такие машины позволяют значительно снизить зависимость от человеческих ресурсов. Это особенно важно в сельской местности Беларуси, где численность населения сокращается, а аграрные предприятия сталкиваются с проблемой нехватки рабочей силы. Автономные устройства могут заменить ручной труд в таких задачах, как внесение удобрений, пестицидов, гербицидов, а также в проведении мониторинга состояния посевов и выполнения трудоемких операций по уходу за растениями. Внедрение таких технологий становится не просто желательным, но и необходи-

мым шагом для поддержания высокого уровня сельскохозяйственного производства. Во-вторых, автономные мобильные агрегаты способны повысить точность и эффективность аграрных операций. Современные роботизированные системы могут быть оснащены датчиками, системами искусственного интеллекта и машинного зрения, что позволяет им адаптироваться к конкретным условиям поля, осуществляя работы с высокой степенью точности. Это особенно важно для Беларуси, где оптимальное использование ресурсов – воды, удобрений и средств защиты растений – является важной задачей. Традиционные методы сельскохозяйственных операций зачастую связаны с перерасходом ресурсов или их неравномерным применением, что негативно сказывается как на экономической эффективности производства, так и на состоянии окружающей среды. Автономные системы могут минимизировать эти издержки за счет точечного внесения средств и точного контроля над каждым этапом работы, что в конечном итоге повышает урожайность и снижает производственные затраты.

Еще одной важной перспективой является сокращение рисков, связанных с человеческим фактором. В сельском хозяйстве нередко случаются ошибки, обусловленные усталостью работников, недостаточной квалификацией или нехваткой времени для качественного выполнения всех необходимых операций. Автономные системы способны работать непрерывно, обеспечивая стабильно высокое качество выполнения задач. Это особенно актуально в сезонные периоды, когда аграрные предприятия испытывают пиковые нагрузки и от своевременности выполнения работ зависит конечный результат. Автономные мобильные агрегаты могут работать как днем, так и ночью, обеспечивая максимальную производительность и сокращая временные затраты на выполнение операций.

Перспективы внедрения автономных систем также связаны с вопросом устойчивого развития и минимизации негативного воздействия сельского хозяйства на окружающую среду. Применение мобильных агрегатов позволяет снизить объем использования химических препаратов за счет их более точного дозирования и равномерного распределения. Это в свою очередь снижает риск загрязнения почв и водных ресурсов, что имеет важное значение для сохранения экосистемы Беларуси. Более того, такие технологии могут способствовать развитию методов органического земледелия, поскольку роботы способны обеспечить более точный и бережный уход за растениями без использования агрессивных химических средств.

Не менее важным аспектом является экономическая выгода от внедрения автономных мобильных агрегатов. Хотя первоначальные инвестиции в такие системы могут быть значительными, в долгосрочной перспективе они обеспечивают значительное сокращение эксплуатационных затрат за счет уменьшения потребности в рабочей силе, снижения издержек на удобрения, пестициды и топливо, а также за счет повышения общей эффективности производства. В условиях ограниченных ресурсов и усиливающейся конкуренции на международных аграрных рынках это может стать важным фактором для повышения конкурентоспособности белорусского сельского хозяйства.

Также стоит отметить, что внедрение автономных технологий в сельское хозяйство может способствовать привлечению молодежи в аграрный сектор. Современные автоматизированные системы создают новые возможности для квалифицированных специалистов в области инженерии, IT, анализа данных и управления высокотехнологичными производственными процессами. Это позволяет изменить восприятие сельского хозяйства как отрасли, связанной исключительно с тяжелым ручным трудом, и представить его в качестве перспективного направления, ориентированного на инновации и технологии. В условиях, когда белорусское сельское хозяйство испытывает нехватку квалифицированных кадров, это может стать важным шагом для решения проблемы дефицита рабочей силы.

Внедрение автономных мобильных агрегатов в сельском хозяйстве также открывает возможности для более активного использования данных и технологий искусственного интеллекта. Автономные мобильные агрегаты могут быть интегрированы в системы мониторинга сельскохозяйственных угодий, они способны анализировать состояние почв, уровни влажности, наличие вредителей и болезней. Это позволяет аграрным предприятиям более оперативно и точно принимать решения, основываясь на реальных данных, что в свою очередь повышает устойчивость

производства к внешним факторам, таким как погодные условия или изменения на рынках сельскохозяйственной продукции.

Интеграция автономных мобильных агрегатов в уже отработанный технологический процесс внесения СХЗР позволит оградить работников сельского хозяйства от непосредственного контакта с пестицидами.

Лабораторией механизации производства овощей и корнеклубнеплодов РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» ведется исследовательская работа в рамках НИР 1 «Создание прототипа мобильной роботизированной платформы для ухода за посадками овощных культур» задания 6.9 «Научное обоснование применения элементов цифровых технологий и роботизированных систем при возделывании овощей и картофеля» подпрограммы «Механизация агропроцессов и «точное» сельское хозяйство» ГПНИ «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность» на 2021–2025 гг. по разработке автономной роботизированной платформы для внесения средств химической защиты растений в междурядья пропашных культур (рисунок 4).

В Республике Беларусь не имеется разработок, которые являются прямым аналогом указанной системы. По сравнению с традиционными средствами внесения средств химической защиты растений, мобильная роботизированная платформа имеет ряд экологических и экономических преимуществ:

- снижение пестицидной нагрузки на человека и окружающую среду;
- более эффективное использование пестицидов;
- возможность автономной работы в любое время суток.

Роботизированная платформа представляет собой сложную автономную систему, предназначенную для мониторинга за состоянием посевов различных культур и ухода за ними.

Платформа состоит из ходовой системы с электроприводом, аппаратно-программного обеспечения, функциональных модулей: системы мониторинга за состоянием посевов, оборудования для внесения средств химической защиты растений, навигационного оборудования.

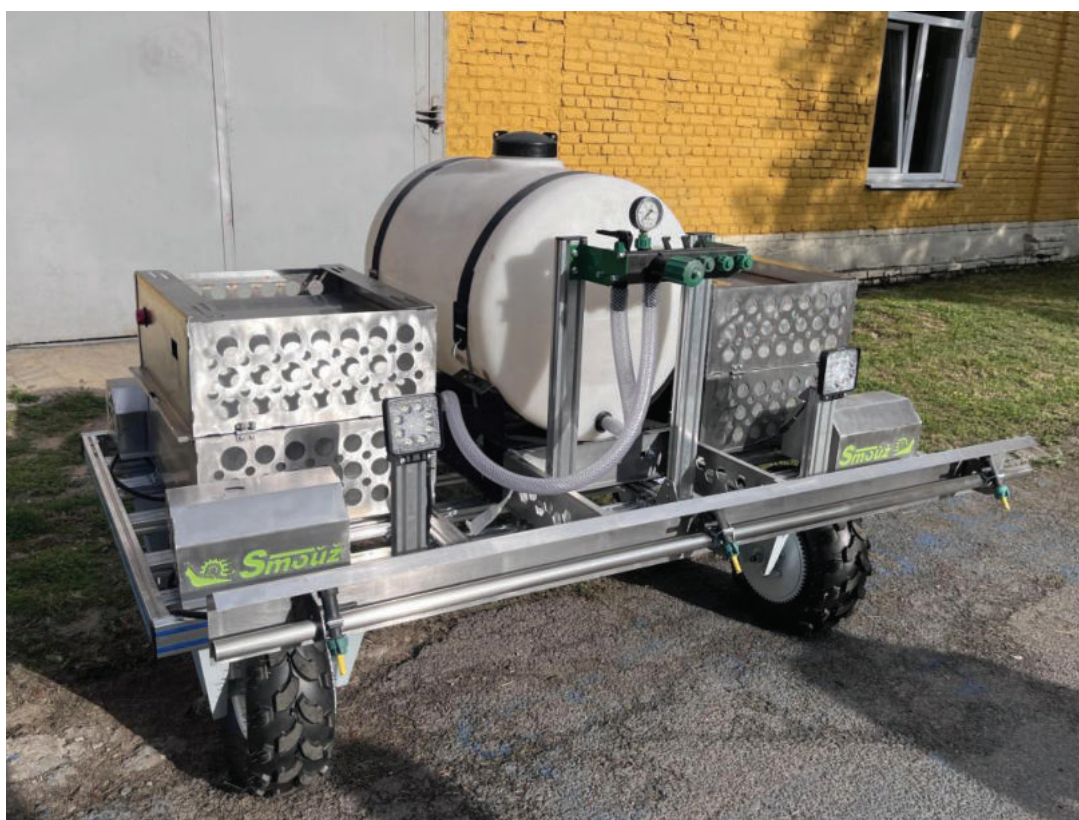


Рисунок 4 – Внешний вид мобильной роботизированной платформы для внесения СХЗР

## **Заключение**

Перспективы внедрения автономных мобильных агрегатов в сельское хозяйство Республики Беларусь чрезвычайно широки и многообразны. Эти технологии помогут повысить производительность и экономическую эффективность аграрных предприятий, а также поспособствуют решению ряда ключевых социальных и экологических проблем, стоящих перед отраслью. В условиях продолжающейся урбанизации и демографических вызовов, с которыми сталкивается Беларусь, роботизация сельского хозяйства представляет собой стратегическое направление, способное обеспечить устойчивое развитие отрасли и повысить ее конкурентоспособность на мировых рынках.

## **Список использованных источников**

1. The Future of Food and Agriculture : офиц. сайт FAO (ООН). – 2024. – URL: <https://www.fao.org/publications/> (дата обращения: 20.08.2024).
2. О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы : Указ Президента Респ. Беларусь от 7 мая 2020 г. № 156 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Минск, 1998–2024. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=P32000156> (дата обращения: 30.08.2024).
3. Беларусь в цифрах, 2024 : стат. сб. // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск : Белстат, 2024. – 65 с.



Ю. Н. Бабак<sup>1</sup>, В. В. Голдыбан<sup>2</sup>, А. С. Воробей<sup>2</sup>, Д. И. Комлач<sup>2</sup>, М. И. Курилович<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГУ «Белорусская МИС»

пос. Привольный, Минский р-н, Республика Беларусь

E-mail: yuribabak@tut.ru

<sup>2</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: labpotato@mail.ru

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАРТОФЕЛЕСАЖАЛКИ С ВЫСАЖИВАЮЩИМ АППАРАТОМ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ТИПА

**Аннотация.** В статье проведены экспериментальные исследования высаживающего аппарата пневматического типа. Экспериментальными исследованиями определено минимальное давление присасывания клубней для стационарных условий эксплуатации картофелесажалки. Для клубней средней фракции (30–55 мм) оно составило 4,5–5,3 кПа, для клубней крупной фракции (55–80 мм) – 6,7–7,5 кПа. При работе сажалки в полевых условиях из-за рельефа местности давление, удерживающее клубни, увеличивается для средней фракции – 8,0 кПа, для крупной – 9,7 кПа.

**Ключевые слова:** экспериментальные исследования, пневматический высаживающий аппарат, доля пропусков, доля двойников, равномерность раскладки, клубни, картофель, вакуум, точная посадка.

U. N. Babak<sup>1</sup>, V. V. Goldyban<sup>2</sup>, A. S. Verabei<sup>2</sup>, D. I. Komlach<sup>2</sup>, M. I. Kurilovich<sup>2</sup>

<sup>1</sup>SI “Belarusian MTS”

s. Privolny, Minsk dis., Republic of Belarus

E-mail: yuribabak@tut.ru

<sup>2</sup>RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: labpotato@mail.ru

## EXPIREMENT REASACHES OF PLANTER APPARAT PNEUMATIC TYPE FOR PLANTER FOR PRECISE PLANT TUBERS POTATOES

**Abstract.** In article were provide expirement resaches of planter apparat pneumatic type. Expirement reaches was dimined minimum presser sucking of tubers for stationary conditions working planter. The tubers for medium fraction (30–55 mm) the presser was 4,5–5,3 kPa, for tuber big fraction (55–80 mm) – 6,7–7,5 kPa. For worckes the planter in a field conditions bisides the terrain the vacuum presser holder of tubers to increase for medium fraction – 8,0 kPa, for big fraction – 9,7 kPa.

**Keywords:** expirement reaches, the share of passes, the share of twins, the uniformity of the layout, pneumatic planter's apparats, tubers, potatoes, vacuum, precise planter.

### Введение

Картофель является одним из основных продуктов питания в рационе многих людей во всём мире и занимает второе место, после риса, по степени широкомасштабного глобального распространения. По данным Национального статистического комитета Республики Беларусь, в 2020 г. в сельскохозяйственных и фермерских хозяйствах картофель возделывался на площади 25,4 тыс. га, валовый сбор составил 6 913 600 т, при средней урожайности 282,0 ц/га. Значимость этой культуры подчеркивается и тем, что она включена в Государственную программу развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2020–2025 гг.

Одной из основных операций при возделывании картофеля является посадка. Основными задачами посадки являются обеспечение заданной площади питания и глубины заделки, кото-

рые во многом определяют качество будущего урожая, так как от них зависит дальнейший рост и развитие растений.

Для посадки клубней картофеля чаще всего используют четырехрядные сажалки, с высаживающим аппаратом ленточного либо цепного типа с двумя рядами ложечек для захвата и транспортирования семенного материала. С данными типами высаживающих аппаратов отечественной промышленностью выпускаются картофелесажалки СК-4 (ГП «Экспериментальный завод» РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», г. Минск), КСМ-4 (ОАО «Агропромсельмаш», г. Лида), Л-202 и Л-207 (ОАО «Управляющая компания холдинга «Лидсельмаш», г. Лида). Использование двух рядов ложечек позволяет обеспечить производительность отечественных сажалок до 6–10 га за смену.

### Основная часть

С целью повышения равномерности распределения клубней в поле, снижения количества двойников и пропусков лабораторией механизации производства овощей и корнеклубнеплодов предложена новая конструкция высаживающего аппарата пневматического типа.

Несмотря на то, что производительность высаживающих аппаратов ложечного типа достаточно высокая, вместе с тем данная конструкция не обеспечивает равномерного распределения клубней в гнезде. Это связано, в первую очередь, с естественными вариациями формы и размера клубней, плохой их текучестью в бункере и инерционностью клубней в момент схода с ложки и поступления в борозду. Первые два фактора обуславливают захват ложечкой двух клубней, либо их отсутствие, в результате чего в поле могут встретиться гнезда с числом клубней от 0 до 4. Инерционность клубней также влияет на равномерность распределения клубней в борозде. Для распределения клубней картофеля в борозде с заданным шагом необходимо, чтобы клубни сбрасывались на дно борозды ложечкой с горизонтальной абсолютной скоростью равной нулю. На практике клубни выбрасываются из ложечки центростремительной силой, при этом происходит их раскатывание в гнездах, что, в свою очередь, изменяет равномерность размещения гнезд вдоль рядков. Из-за особенности подачи клубней ложечкой в борозду равномерность распределения клубней в поле картофелепосадочными машинами с ленточно-ложечковыми высаживающими не превышает 65–80 %.

Повысить равномерность распределения клубней в поле, снизить количество двойников и пропусков можно за счет изменения конструкции пневматического высаживающего аппарата.

Особенностью конструкции данного высаживающего аппарата является возможность повышения равномерности посадки клубней картофеля на высоких скоростях с помощью отрицательного (вакуумного) давления, чтобы захватывать посевной материал, и положительного (воздушного) давления, чтобы высаживать его точно в борозду для равномерной раскладки клубней картофеля.

Для исследования влияния параметров и режимов работы нами использовалась экспериментальная установка – высаживающий аппарат пневматического типа. Внешний вид его конструкции и режимы работы представлены на рисунке 1.

Процесс работы высаживающего колеса характеризуется четырьмя режимами: режим захвата, транспортировки, продувки и сброса (рисунок 2).

Первый режим – режим захвата клубня: когда всасывающие рукава захватывают клубни в условиях вакуума.

Второй – режим транспортировки: клубни, удерживаемые вакуумом, перемещаются к области сброса.

Третий – режим сброса клубня: положительное вакуумное давление прекращается, под действием силы тяжести клубни отделяются от сопла всасывающего рукава и падают в борозду.

Четвертый – режим продувки: в процессе работы высаживающего колеса в вакуумную камеру попадает разнообразный мусор (песок, частицы почвы и другой абразив), что в свою очередь приводит рабочие органы к изнашиванию. Поэтому необходимо периодически в процессе работы высаживающего колеса использовать режим продувки.

Одним из важных элементов высаживающего аппарата является вентилятор, он предназначен для создания вакуумного давления в вакуумной камере. Конструкция и режимы вентилятора представлены на рисунке 3.



Рисунок 1 – Высаживающий аппарат пневматического типа с обоснованными конструктивными и режимными параметрами

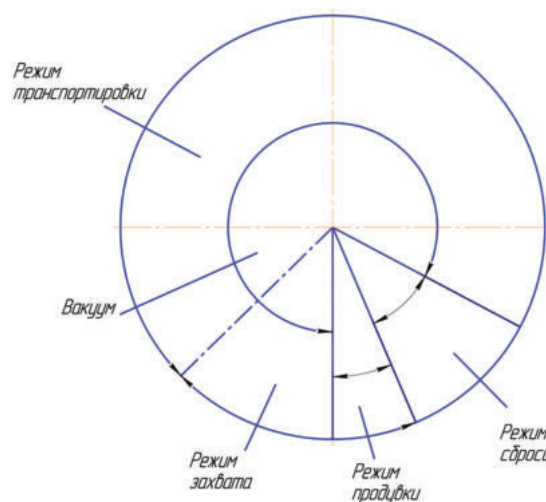


Рисунок 2 – Схема основных режимов высаживающего колеса

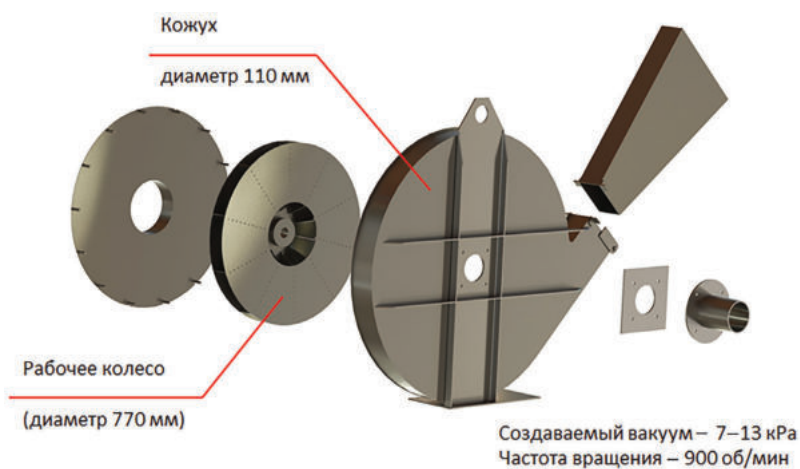


Рисунок 3 – Вентилятор и режимы его работы



В процессе экспериментальных исследований была произведена посадка клубней картофеля (рисунки 4, 5). Теоретическое расстояние между клубнями бралось 20 см (рисунок 6). К основным параметрам, которые оказывают наибольшее влияние на качество посадки, относятся: частота вращения высаживающего колеса, высота заполнения бункера клубнями картофеля, вакуумное давление.



Рисунок 4 – Высаживающий аппарат пневматического типа (общий вид):  
1 – высаживающее колесо; 2 – всасывающий рукав; 3 – всасывающее сопло



Рисунок 5 – Работа пневматической высаживающей системы в поле



Рисунок 6 – Равномерность раскладки клубней картофеля

Нижнее значение уровня вакуумного давления 8 кПа было выбрано в процессе эксперимента. Это тот предел давления, который удерживал средний клубень, а верхнее значение 12 кПа было определено экспериментально и взято на 15 % больше с учетом тяжелых условий эксплуатации картофелесажалки, тот предел давления, который удерживал как средний, так и крупный клубни (таблица 1).

Частота вращения высаживающего колеса менялась при помощи ВОМ трактора и замерялась на панели управления в кабине трактора.

Вакуумное давление измерялось с помощью прибора ППДУ-01. Для значений фракций клубней размером 30–50 мм достаточно было давления 5,3 кПа, а чтобы удерживать клубни картофеля обеих фракций размером от 30 до 80 мм необходимо давление 8 кПа.

Таблица 1 – Обоснование рабочего давления присасывания клубня

Размер клубней	Значения, мм	Наименьшее давление присасывания, кПа	Давление, удерживающее клубень при работе сажалки, кПа
Средний	30–55	4,5–5,3	8,0
Крупный	55–80	6,7–7,5	9,7

Высота заполнения бункера для клубней изменялась при помощи датчика уровня высоты. В качестве измеряемых показателей для процесса посадки мы выбираем: равномерность распределения клубней в рядке, долю пропусков и долю двойников, которые рассчитываются по формулам.

Равномерность распределения клубней по полю рассчитываем по формуле:

$$R = \frac{i}{n} \cdot 100, \quad (1)$$

где  $i$  – число высаженных клубней, фактическое расстояние между которыми составляет от 0,8 до 1,2 установочного расстояния между клубнями в ряду;  $n$  – общее число клубней, высаженных на измерительном участке с установочным расстоянием между клубнями в ряду.

Долю пропусков ( $M$ ) в процентах определяют по формуле:

$$M = \frac{j}{n} \cdot 100, \quad (2)$$

где  $j$  – число пропусков.

Долю двойников ( $D$ ) в процентах определяют по формуле:

$$D = \frac{k}{n} \cdot 100, \quad (3)$$

где  $k$  – число двойников.

Основной задачей планирования эксперимента является получение статистической математической модели объекта исследования в виде полинома (уравнения регрессии), чаще всего первой или второй степени.

Качество равномерности ( $y_1$ ) на выходе в нашем случае является параметром оптимизации:  $y_{1\max} = 1$  – при 100-процентной равномерности раскладки клубней.

Качество работы посадки будет наилучшим в том случае, когда на выходе клубни имеют 100-процентную долю пропусков и не имеют двойников, т. е.  $y_1 = 1$ .

Для проведения экспериментальных исследований был выбран симметричный некомпозиционный план Бокса – Бенкена, т. е. способ построения симметричных близких к ротатабельным планов второго порядка при условии, что каждая переменная может изменяться не более, чем на трех уровнях ( $-1, 0, +1$ ). В отличие от планов на сфере, планы Бокса – Бенкена строятся на гиперкубе и представляют собой комбинации двухуровневых ( $-1; +1$ ) полных факторных экспериментов с неполноблочными сбалансированными планами (таблица 2).

Таблица 2 – Симметричный некомпозиционный план Бокса – Бенкена

Число факторов, $k$	Матрица планирования			План для факторов, имеющих уровни $\pm 1$	Число опытов		
	$x_1$	$x_2$	$x_3$		В выборке из плана $3^k$	На нулевом уровне $N_0$	Всего $N$
3	+1	-1	0	$2^2$	27	3	9
	0	0	+1				
	-1	0	0				
	0	-1	+1				
	+1	0	-1				
	0	+1	0				
	0	0	0				
	+1	+1	+1				
	-1	-1	-1				

Перед проведением эксперимента выбираем базовые уровни и интервалы варьирования факторов, количество параллельных опытов в каждой точке плана и порядок его реализации. При выборе факторов оптимизации учитываем, что они должны непосредственно воздействовать на изучаемый объект, быть действительно независимыми, изменяемыми и управляемыми. Исходя из этих требований, в качестве факторов оптимизации выбираем:

- частоту вращения высаживающего колеса  $x_1$ ;
- отрицательное давление  $x_2$ ;
- высоту заполнения бункера картофеля  $x_3$ .

Условия опытов выбраны неслучайно, теоретические расчеты по определению режимов работы высаживающего аппарата пневматического типа позволяют считать, что исходный уровень уже находится в области оптимума. Опыты не дублировали, поскольку центральный опыт повторяли трижды.

Для эксперимента был выбран сорт картофеля Гала. Клубни были трех фракций: крупной, средней и малой с влажностью 79,7 %. Для данного сорта Гала была произведена выборка по размерно-массовым характеристикам клубней согласно ТКП 277-2010 (таблица 4).

Эксперимент проводился с трехкратной последовательностью фактических интервалов между клубнями картофеля при равномерном вращении высаживающего колеса. Данные были обработаны для получения значений критериев оценки.

В качестве экспериментальных факторов были выбраны: частота вращения высаживающего колеса от 10 до 30 об/мин, вакуумметрическое давление пневматической системы от 8 до 12 кПа и высота посевного материала от 15 до 25 см (таблица 3).

Значения экспериментальных данных, полученные на определенных уровнях, и результаты экспериментальных исследований показаны в таблице 4.

Таблица 3 – Факторы и уровни эксперимента для посадки клубней

Факторы	Частота вращения высаживающего колеса, об/мин, $x_1$	Высота заполнения, см, $x_2$	Отрицательное давление вакуумной камеры, кПа, $x_3$
Основной уровень $x_{i0}$	20	20	10
Интервалы варьирования $\Delta x_i$	10	5	2
Верхний уровень $x_i = +1$	30	25	12
Нижний уровень $x_i = -1$	10	15	8

Таблица 4 – Анализ результатов экспериментальных данных

Критерии и оценки	Факторы	Оптимальный уровень	Комбинированный оптимальный уровень	Значение комбинированного оптимального уровня
Доля двойников	$X_1$	30	Частота вращения высаживающего колеса – 30 об/мин; вакуумное давление – 8 кПа; высота заполнения – 25 см	Доля двойников – 0,1 %
	$X_2$	25		
	$X_3$	8		
Доля пропусков	$X_1$	10	Частота вращения высаживающего колеса – 10 об/мин; вакуумное давление – 12 кПа; высота заполнения – 15 см	Доля пропусков – 0,2 %
	$X_2$	15		
	$X_3$	12		
Качество	$X_1$	20	Частота вращения высаживающего колеса – 20 об/мин; вакуумное давление – 10 кПа; высота заполнения – 25 см	Равномерность раскладки – 92,1 %
	$X_2$	25		
	$X_3$	10		

В процессе экспериментальных исследований было установлено, что при значениях уровней частоты вращения высаживающего колеса – 30 об/мин, вакуумном давлении 8 кПа, высоте заполнения 25 см доля двойников составила наилучший показатель – 0,1 %. При значениях уровней частоты вращения высаживающего колеса – 10 об/мин, вакуумного давления 12 кПа, высоте заполнения 15 см было достигнуто наилучшее значение доли пропусков – 0,2 %. При значениях уровней частоты вращения высаживающего колеса – 20 об/мин, вакуумном давлении 10 кПа, высоте заполнения 25 см была получена наилучшая раскладка клубней в рядке, чему соответствовал критерий качества 92,1 %.

### Заключение

Экспериментальными исследованиями определено минимальное давление присасывания клубней для стационарных условий эксплуатации картофелесажалки. Для клубней средней фракции (30–55 мм) оно составило 4,5–5,3 кПа, для клубней крупной фракции (55–80 мм) – 6,7–7,5 кПа. При работе сажалки в полевых условиях из-за рельефа местности давление, удерживающее клубни, увеличивается для средней фракции – 8,0 кПа, для крупной – 9,7 кПа.

Установлено, что увеличение частоты вращения высаживающего колеса свыше 20 об/мин приводит к большей силе инерции клубня, сокращающей время прохождения вакуумного захвата через ворох клубней в питающем бункере, сокращает время контакта между вакуумным захватом и клубнем, что приводит к ухудшению условий захвата и увеличению доли пропусков. Рост всасывающего давления свыше 10 кПа обеспечивает надежный захват клубней картофеля, а при достижении 12 кПа способствует захвату нескольких клубней сразу.

В результате экспериментальных исследований установлено, что наилучшее качество посадки картофеля вакуумным высаживающим аппаратом обеспечивается при следующих параметрах: высоте материала в питающем бункере – 20 см, частоте вращения высаживающего колеса – 30 об/мин, вакуумном давлении – 8 кПа, где доля пропусков составляет – 0,1 %, доля двойников – 0,2 %, равномерность раскладки клубней картофеля в рядке – 92,1 %. Согласно агротехническим требованиям для посадки картофеля, равномерность и распределение клубней в ряду должны быть не менее 80 %; количественная доля пропусков – не более 3 %; количественная доля двойников – не более 5 %.



**А. С. Воробей, А. В. Ленский, П. П. Бегун**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: labpotato@mail.ru*

## **ТЕХНОЛОГИИ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ОРГАНИЧЕСКОГО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

*Аннотация.* В статье рассмотрены принципы и методы органического сельского хозяйства. Представлены машины, разработанные РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», относящиеся к VI технологическому укладу.

*Ключевые слова:* искусственный интеллект, органическое сельское хозяйство, роботизированная платформа, мониторинг, техническое зрение.

**A. S. Vorobei, A. V. Lenski, P. P. Begun**

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: labpotato@mail.ru*

## **TECHNOLOGICALS ON A BASE ARTIFICIAL INTELLIGENS BY PRODUCE ORGANIC AGRICULTURE**

*Abstract.* The article provides a principles and methods organic agriculture. A list of machines developed by RUE “SPC NAS of Belarus for the mechanization of agriculture” within the framework of the VI technological order is presented.

*Keywords:* artificial intelligence, organic agriculture, robotic platform, monitoring, technical vision.

### **Введение**

Аргумент в пользу массового внедрения ИИ-технологий в сельском хозяйстве часто формулируется так: население Земли к 2050 г. достигнет 10 млрд человек, радикально увеличить обрабатываемые площади невозможно, необходимо повысить интенсивность их использования.

Для того, чтобы прокормить население мира к 2050 г., глобальное продовольственное производство может потребовать увеличение объема производства от 60 до 110 % [1–5]. Эта задача дополнительно усложняется необходимостью не только производить больше, но и гораздо эффективнее управлять всей цепочкой поставок продовольствия, уменьшая отходы, которые достигли неприемлемых масштабов (по разным оценкам более 30 %), а также способствуя лучшему доступу к питанию и распределению продовольствия [6].

Органическое (экологическое, биологическое) сельское хозяйство – метод ведения сельского хозяйства, в рамках которого происходит сознательная минимизация использования синтетических удобрений, пестицидов, регуляторов роста растений, кормовых добавок [7].

### **Основная часть**

Согласно формулировке организации International Federation of Organic Agriculture Movements: «Органическое сельское хозяйство – производственная система, которая поддерживает здоровье почв, экосистем и людей. Зависит от экологических процессов, биологического разнообразия и природных циклов, характерных для местных условий, избегая использования неблагоприятных ресурсов. Органическое сельское хозяйство объединяет традиции, нововведения и нау-

ку, чтобы улучшить состояние окружающей среды и развивать справедливые взаимоотношения и достойный уровень жизни для всего вышеуказанного».

Международная федерация экологического сельскохозяйственного движения (IFOAM) рассматривает органическое сельское хозяйство как комплекс мероприятий, направленных на работу с экосистемами, биогеохимическими циклами веществ и элементов, на их поддержание и получение эффекта от их оптимизации. Органическое сельское хозяйство предполагает в долгосрочной перспективе поддерживать здоровье как конкретных объектов, с которым имеет дело (растений, животных, почвы, человека), так и всей планеты.

В последние десятилетия спрос на органические продукты резко увеличился. По данным Ассоциации органической торговли, продажи увеличились с 1 млрд долл. США в 1990 г. до 35,1 млрд долл. США в 2013 г., более 90 % из которых пришлось на продажу продуктов питания, в 2022 г. объем продаж только органических продуктов питания превысил 60 млн долл. США [8]. Рынок органических продуктов может стать основой на пути к достижению Целей устойчивого развития, однако многие исследователи подчеркивают, что при полном переходе от традиционного сельского хозяйства к органическому невозможно будет обеспечить население планеты продовольствием из-за низкой урожайности в органическом сельском хозяйстве.

У органического сельского хозяйства есть свои принципы и методы. Принципы органического земледелия в настоящее время рассматриваются как основа развития этой отрасли во всем мире. Рассмотрим сначала принципы.

1. Принцип здоровья – органическое сельское хозяйство должно поддерживать и улучшать здоровье почвы, растений, животных, людей и планеты, как единого и неделимого целого.

2. Принцип экологии – органическое сельское хозяйство должно основываться на правилах существования естественных экологических систем и циклов, работая, сосуществуя с ними и поддерживая их.

3. Принцип справедливости – органическое сельское хозяйство должно строиться на отношениях, которые гарантируют справедливость с учетом общей окружающей среды и жизненных возможностей.

4. Принцип заботы – управление органическим сельским хозяйством должно носить предупредительный и ответственный характер для защиты здоровья и благополучия нынешних и будущих поколений и окружающей среды [9].

Высокая цена на органические продукты относительно обычных продуктов питания объясняется теорией спроса и предложения [10]. По мере популяризации экологичного образа жизни, распространения информации о вредных последствиях синтетических удобрений, пестицидов, гормонов роста и пр. потребители все больше предпочитают безопасные экологически чистые продукты. В развитых странах изменение потребительских предпочтений в сочетании с высокими доходами, что позволяет приобретать дорогие продукты питания, сделало органические продукты более востребованными.

Рассмотрим также методы органического сельского хозяйства:

– отказ от использования фунгицидов, гербицидов, искусственных удобрений и антибиотиков [11, 12];

– применение животных и растительных отходов в качестве удобрений;

– использование севооборота для восстановления почвы;

– применение биологических способов защиты растений;

– использование замкнутого цикла земледелие-скотоводство (растениеводство – корм, скотоводство – удобрения) [13].

Быстрорастворимые минеральные удобрения и пестициды запрещены (при «исключительных случаях» с высоким риском потери урожая допускается использование продуктов синтетической химии) [14].

В животноводстве признаком органического сельского хозяйства является «видосоответствующее содержание животных»: отказ от круглогодичного стойлового содержания, обязательный выпас скота, неиспользование синтетических кормовых добавок и гормонов, запрет на превентивное использование антибиотиков [11].

Российский рынок органической продукции, по сравнению с зарубежным, достаточно молод, находится на начальном этапе развития. В стоимостном выражении за последние 15 лет он вырос в 10 раз: с 16 млн долл. США в начале 2000-х гг. до 160 млн долл. США в 2016 г. Изначально рынок «органики» на 100 % был представлен импортной продукцией (в основном из Германии, Франции и Италии), но в 2016 г. «органика» отечественного производства составила уже 10 % общего объема рынка. В 2010–2014 гг. рынок органической продукции увеличивался в среднем на 10 % в год. По ряду причин (экономический спад в России, который привел к снижению реальных доходов населения, и продовольственное эмбарго, введенное в 2014 г.) рост рынка в 2015–2016 гг. был более умеренным, возрастая ежегодно по оценкам Национального органического союза на 4 %. Однако, несмотря на позитивные изменения за последнее десятилетие, доля России на мировом рынке органических продуктов составляет лишь 0,2 % [13].

Рассмотрим развитие органического сельского хозяйства Республики Беларусь. Закон Республики Беларусь «О производстве и обращении органической продукции» от 9 ноября 2018 г. № 144-З вступил в силу с 18 ноября 2019 г. (далее – Закон) [15].

В Доктрине национальной продовольственной безопасности Беларуси до 2030 г. содержатся положения о необходимости развития производства органической продукции. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Беларуси на период до 2030 г. в качестве одного из главных критериев развития сельского хозяйства предусматривает рост доли органических земель в общей площади сельскохозяйственных земель до 3–4 % к 2030 г. [16].

В настоящее время в Республике Беларусь реализуется несколько основных программ по развитию сельского хозяйства, среди которых в контексте стратегии устойчивого развития государства интерес представляют «Стратегия развития сельского хозяйства и сельских регионов Беларуси на 2015–2020 годы», «Поддержка производителей органической продукции: предпосылки, состояние и перспективы развития органического сельского хозяйства в Республике Беларусь. Концепция национальной программы». Цели и приоритеты концепции устойчивого развития предполагают дальнейшее совершенствование сельскохозяйственного производства для укрепления продовольственной безопасности государства, а также определенную трансформацию направлений развития, как ответ на усиливающийся во всем мире интерес к органическому (экологическому) производству [17].

Свое развитие органическое производство в нашей стране получило в последнее десятилетие. В 2011 г. в Беларуси впервые прошла Неделя управления экологизацией сельского хозяйства и переходом к низкоуглеродной экономике, в ходе которой были определены основные принципы устойчивого сельского хозяйства, ассоциировавшегося в то время с органическим или экологическим, биологическим. В течение последнего десятилетия в Республике Беларусь наблюдался устойчивый рост интереса к органическому производству, что обусловило необходимость актуализации нормативно-правовой базы, основываясь на современной терминологии, соответствующей мировым подходам в данной сфере, в первую очередь Международной федерации органического сельскохозяйственного движения (IFOAM) [18].

В настоящее время производством органической продукции в Республике Беларусь (оперативная информация) занимается порядка 27 субъектов хозяйствования, включая крестьянские (фермерские) хозяйства, личные подсобные хозяйства граждан, сельскохозяйственные и другие субъекты Брестской, Витебской, Гродненской, Минской и Могилевской областей. Около 1 600 гектаров сельскохозяйственных земель сертифицировано для производства органической продукции [19].

Но помимо принципов и методов органического сельского хозяйства нужна еще и специализированная техника. С целью не нарушать условий ведения органического сельского хозяйства в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» и в рамках программ ГПНИ и БРФФИ были разработаны следующие единицы макетных образцов техники.

Система распознавания, программы искусственного интеллекта глубокого обучения и системы технического зрения сегодня являются неотъемлемой частью жизненно важных процессов. Они широко используются не только для отделения некондиционных клубней картофеля, но



Рисунок 1 – Автоматическая управляемая навесная система

и помогают трактористам производить уход пропашных растений в период вегетации, не повреждая при этом растения.

При механизированной обработке междурядий культурные растения могут повреждаться рабочими органами культиватора [20–23]. Во избежание этого рабочие органы размещают на требуемом расстоянии от рядка культурных растений. Поэтому после прохода культиватора с обеих сторон рядка остается необработанная полоска – защитная зона. В разные периоды обработки междурядий защитные зоны составляют 28–43 % от общей площади междурядий [24–25]. Именно такая площадь остается необработанной, что ведет к резкому снижению урожайности из-за сорняков, расположенных в защитной зоне растений. Опыт показывает, что с уменьшением защитных зон с 10–12 см до 7–8 см сорная растительность уменьшается почти в два раза.

С целью повышения качества междурядной обработки лабораторией механизации производства овощей и корнеклубнеплодов РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» совместно с ГНУ «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси» в рамках задания 4.39 «Исследование точности вождения пропашных культиваторов с целью повышения качества междурядных обработок» ГПНИ «Качество и эффективность агропромышленного производства», 2016–2020 гг., подпрограмма «Механизация и автоматизация процессов в АПК», выполнялась разработка и изготовление автоматической управляемой навесной системы (АУНС) для отслеживания защитной зоны культурных растений при междурядной обработке сахарной свеклы (рисунок 1).

АУНС состоит из механической части и аппаратно-программного обеспечения. Механическая часть представляет собой рамную конструкцию с верхней и нижней направляющими, по которым перемещается подвижная рамка с навешиваемым на нее культиватором. Перемещение подвижной рамки вправо или влево осуществляется гидроцилиндром посредством электромагнитного распределителя.

Основные характеристики АУНС представлены в таблице.

Основные характеристики АУНС

Наименование показателя	Значение показателя
Тип системы	навесная
Масса устройства, кг	220
Грузоподъемность, т	до 1,5
Рабочее напряжение бортовой электросети трактора, В	12



Наименование показателя	Значение показателя
Смещающий диапазон подвижной рамки, мм	$\pm 250$
Габаритные размеры, мм:	
– ширина	1 635
– высота	865
Допустимое количество ошибок, %	3
Скорость движения МТА, км/ч	от 5 до 10
Агрегируемый класс трактора, кН	1,4

В основу работы системы автоматического управления пропашным культиватором положена концепция использования визуальной информации о положении растений в рядке, полученной с видеокамеры. Вычислительный модуль, на основании полученной видеoinформации от камеры и заложенной в него логики, способен через блок управления воздействовать на гидрораспределитель, а тот, в свою очередь, посредством гидроцилиндра и подвижной части смещает сельскохозяйственную машину, к примеру, культиватор в нужную сторону. Оператор, которым является механизатор, может самостоятельно влиять на логику работы вычислительного модуля через сенсорный монитор.

В результате обученная ИНС способна успешно сегментировать рядки сахарной свеклы на различных цветных изображениях.

Однако анализ достаточно большого числа реальных кадров показал, что очень часто куполообразные участки графика не являются идеальными: они могут иметь различную амплитуду, а также различные локальные максимумы, которые отрицательным образом влияют не только на определение центров, но и количества потенциальных рядков.

В связи с этим, было предложено воспользоваться динамически определяемым порогом среза получаемых графиков. Все локальные минимумы, которые являются выше динамического порога, причисляются к глобальным, причем они автоматически ассоциируются с потенциальными рядками.

Указанная система была успешно отлажена и протестирована на экспериментальном участке сахарной свеклы в агрегате «Беларус 102.1 + КГ-1» (рисунок 2).

Использование систем технического зрения и автоматического управления культиватором позволит повысить качество междурядных обработок пропашных культур и свести пестицидную нагрузку к нулю, что, в свою очередь, удовлетворяет агротребованиям органического сельского хозяйства.



Рисунок 2 – Съем данных для создания обучающей выборки автоматически управляемой навесной системы

Результаты исследований, проводимых на опытных посевах сахарной свеклы, показали: точность отслеживания защитной зоны растений составила от  $\pm 2,0$  см до  $\pm 2,3$  см. Кроме того, использование автоматической управляемой навесной системы со скоростью 7,6–7,8 км/ч в контрольных точках показало, что в защитной зоне ряда уничтожалось 91 % сорняков. Что касается повреждения культурных растений в процессе исследований, то повреждаемость находилась в пределах агропуски – 3 %, при условии работы МТА со скоростью, не превышающей 8 км/ч. Повышение скорости МТА свыше 8 км/ч снижает качество выполнения междурядной обработки, ведет к увеличению количества поврежденных культурных растений.

В рамках задания «Разработка концепции создания универсальной роботизированной платформы для мониторинга за состоянием и ухода за посадками сельскохозяйственных культур» по договору с Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований № Т21МН-003 от 01.07.2021 г. была предложена структура автоматизированной универсальной роботизированной платформы для мониторинга за состоянием и ухода за посадками сельскохозяйственных культур.

Конструкция роботизированной платформы будет состоять из шасси (рама и управляемые мотор-колеса), системы навигации и управления, системы питания, датчика системы технического зрения (рисунок 3).

Достаточно весомым компонентом любого способа движения является радиус поворота агрегата. Ведь чем меньше радиус поворота, тем меньше времени и энергии затрачивается на совершение разворота.

Роботизированная платформа при повороте будет приводить все колеса в положение, как показано на рисунке 4. При прямолинейном движении все четыре колеса будут иметь возможность подруливания, при этом они будут являться ведущими (рисунок 5).

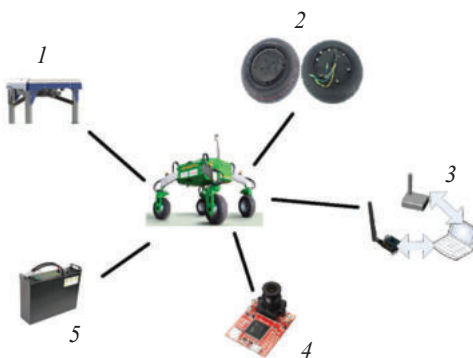


Рисунок 3 – Структурная схема роботизированной платформы: 1 – рама; 2 – управляемые мотор-колеса; 3 – система навигации и управления; 4 – система технического зрения; 5 – система питания

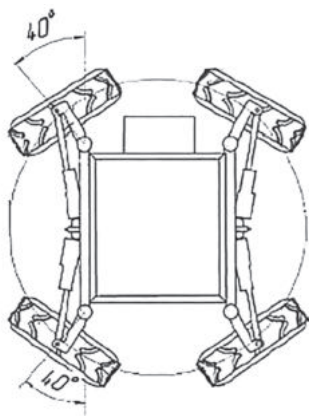


Рисунок 4 – Положение колес при развороте

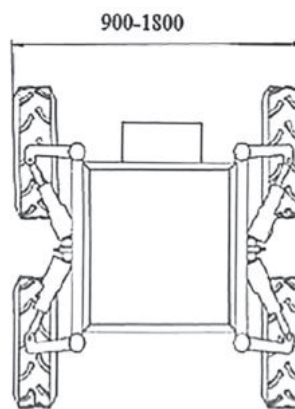


Рисунок 5 – Положение колес для прямолинейного движения

Применение роботизированной платформы позволит сократить затраты ручного труда, затраты на ГСМ, не будет происходить переуплотнения почвы, что, в свою очередь, обеспечит надежную экосистему почв.

Развитие процессов интеллектуализации позволит снизить количество занятых на опасных и вредных производствах в сельском хозяйстве, прежде всего на работах с ядохимикатами, а также на рутинных процессах. Это, в свою очередь, поможет повысить привлекательность отрасли для молодых кадров, а также привлекательность организаций сельского хозяйства для инвесторов.

Технологии искусственного интеллекта позволят увеличить точность прогнозов урожайности культур, продуктивности животных, состояния почвы и погоды. Это позволит также снизить неопределенность на рынке, затраты на страхование, привлечь дополнительные инвестиции.

Вместе с тем, применение технологий искусственного интеллекта требует обработки огромных объемов данных, энергетических затрат и дорогостоящего цифрового оборудования, что повышает требования к инфраструктуре производства и увеличивает затраты на применение искусственного интеллекта.

### **Заключение**

Технологии искусственного интеллекта обладают значительным потенциалом для увеличения производства продуктов питания путем анализа и оптимизации сельскохозяйственного производства в каждом конкретном регионе.

Вместе с тем вопросы более широкого применения технологий искусственного интеллекта в сельском хозяйстве и других отраслях требуют дальнейших исследований.

На сегодняшний день существует множество подходов к устойчивому производству продуктов питания. Органическое сельское хозяйство может стать основополагающим способом производства продуктов питания в будущем, для этого оно должно быть интегрировано в совокупность стратегий, направленных на достижение устойчивости продовольственной системы. Рынок органической продукции активно развивается в последние десятилетия. Органическая продукция контролируется сертифицирующими органами, имеет отличительные черты для потребителей, правительствами разрабатываются программы поддержки органических производителей. Рынок органических продуктов питания успешно функционирует и справляется с повышением устойчивости сельскохозяйственных систем в странах с высоким уровнем доходов и достаточным уровнем осознанности потребления. Однако большинство стран с высоким уровнем потребления органической продукции не располагает достаточным количеством сельскохозяйственных угодий для ведения органического сельского хозяйства [26].

Применение органического производства в развивающихся странах также положительно сказывается на их устойчивом развитии. Несмотря на то, что сначала потребление органической продукции может оставаться низким внутри страны из-за низкого уровня доходов населения, экспорт такой продукции положительно скажется на экономических, экологических и социальных показателях страны. По мере роста уровня жизни населения и популяризации экологической осознанности в стране производители будут готовы удовлетворить растущий спрос населения.

### **Список использованных источников**

1. Pretty, J. Agricultural sustainability: Concepts, principles and evidence / J. Pretty // *Philosophical Transactions of the Royal Society*. – 2008. – № 363 (1491). – P. 447–466.
2. Agriculture at a crossroads: The synthesis report / International Assessment of Agricultural Knowledge, science and Technology for Development (IAASTD). – URL: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/7862> (date of access: 09.09.2023).
3. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture / D. Tilman Ch. Balzer, J. Hill, B. L. Befort // *Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2011. – № 108. – DOI: 10.1073/pnas.1116437108.
4. Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050 / D. K. Ray, D. M. Nathaniel, P. C. West, J. A. Foley // *PLoS One*. – 2013. – № 8. – DOI: 10.1371/journal.pone.0066428.
5. Pardey, P. G. A bounds analysis of world food futures: Global agriculture through to 2050 / P. G. Pardey, J. M. Beddow, T. M. Hurley [et al.] // *Australian journal of agricultural and Resource Economics*. – 2014. – № 58. – P. 571–589.

6. Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention // food and Agriculture Organization of the United Nations. – URL: <https://www.fao.org/3/i2697e/i2697e.pdf> (date of access: 09.09.2023).
7. IFOAM: The Principles of Organic Agriculture / Wayback Machine.
8. Paull, John & Hennig, Benjamin (2016) Atlas of Organics: Four Maps of the World of Organic Agriculture / Wayback Machine Journal of Organics. 3(1): 25–32.
9. Principles of Organic Agriculture – IFOAM, Retrieved August 15, 2017 (date of access: 19.01.2018).
10. The World of Organic Agriculture 2019. FiBL and IFOAM (date of access: 15.03.2019).
11. Paull, J. Organic Agriculture in Australia: Attaining the Global Majority (51 %) / Wayback Machine // Journal of Environment Protection and Sustainable Development, 5(2):70-74. – 70–74 p.
12. Helga Willer, Julia Lernoud and Robert Home The World of Organic Agriculture: Statistics & Emerging Trends 2013 / Wayback Machine, Research Institute of Organic Agriculture (FiBL) and the International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM, 2013).
13. Paull, J. The Uptake of Organic Agriculture: A Decade of Worldwide Development / Wayback Machine, Journal of Social and Development Sciences, 2 (3). – P. 111–120.
14. Paull, J. Nanomaterials in food and agriculture: The big issue of small matter for organic food and farming» / Wayback Machine, Proceedings of the Third Scientific Conference of ISO FAR (International Society of Organic Agriculture Research), 28 Sept. – 1 Oct., Namyangju, Korea, 2:96–99.
15. Mshp.gov.by : офиц. сайт Министерства сел. хоз-ва и прод. Респ. Беларусь. – Минск, 2007–2024. – URL: <https://www.Mshp.gov.by> (дата обращения: 07.10.2024).
16. Цели устойчивого развития в Беларуси. – Минск, 2024. – URL: <https://www.Sdgs.by> (дата обращения: 07.10.2024).
17. Belal.by : сайт Белор. сельскохозяй. библиотеки им. И. С. Лупиновича НАН Беларуси. – Минск, 2015–2024. – URL: <https://www.Belal.by> (дата обращения: 07.10.2024).
18. Инвестируй в Беларусь : сайт Нац. агентства инвестиций и приватизации Респ. Беларусь. – Минск, 2024. – URL: <https://www.Investinbelarus.by> (дата обращения: 07.10.2024).
19. Agrocultura.org. – URL: <https://www.Agrocultura.org> (дата обращения: 07.10.2024).
20. Lekomtsev, P. L. Hydrogasdynamics. Workshop: study guide / P. L. Lekomtsev, E. V. Dresvyannikov. – Izhevsk : FGBOU VPO Izhevsk State Agricultural Academy, 2013. – 45 p.
21. Abramovich, G. N. Applied gas dynamics. At 2 pm H 1: Proc. guide: For high schools. – 5th ed., rev. and add. – M. : Science. Ch. ed. physics and mathematics lit., 1991. – 600 p.
22. Akhmerov, Kh. Kh. Automated machine for thinning sugar beet seedlings / Kh. Kh. Akhmerov // Mechanization and electrification of agriculture: F, 1984. – № 7. – P. 19–26.
23. Balaeva, N. A. Theoretical foundations for creating a microclimate in a room [Text]: method. instructions / N. A. Balaeva, L. V. Arteeva. – Ukhta : USTU, 2012. – 28 p.
24. Avetisyan, R. D. Investigation of the stability of movement and controllability of cultivator units during inter-row cultivation of row crops on the slopes : author. dis. ... Cand. tech. Sciences : 05.20.01. – Yerevan, 1974. – 26 p.
25. Agriculture of the Republic of Belarus: statistical collection / National Statistical Committee of the Republic of Belarus. – Minsk, 2020. – 179 p.
26. Environmentally friendly technologies for the destruction of weeds in the protective zone of row crops. / V. P. Lutsenko, N. A. Tokarev, I. M. Sokolova, T. V. Nikitina // For the 95th anniversary of the All-Russian Research Institute of Irrigated Vegetable and Melon Growing. Vestn. RAAS, 2006 ; № 5. – P. 70–71.

**Н. Г. Бакач, Е. Л. Жилич, С. А. Цалко**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: npc\_mol@mail.ru*

## **КОРМЛЕНИЕ ПОРОСЯТ-СОСУНОВ**

*Аннотация.* В статье рассмотрены питание поросят-сосунов с первых дней их жизни, введение подкормки и витаминов в их рацион, а также примерные суточные нормы кормов.

*Ключевые слова:* подсосный период, свиноматка, поросята-сосуны, подкормка, минерально-витаминные добавки, комбикорм.

**N. G. Bakach, E. L. Zhilich, S. A. Tsalko**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: npc\_mol@mail.ru*

## **FEEDING SUCKLING PIGLETS**

*Abstract.* The article discusses nutrition from the first days of life of suckling piglets, the introduction of supplementary feeding and vitamins into their diet, as well as approximate daily feed rates.

*Keywords:* suckling period, sow, suckling piglets, feeding, mineral and vitamin supplements, compound feed.

### **Введение**

Интенсификация сельскохозяйственного производства на основе внедрения ресурсосберегающих технологий является стратегическим направлением, обеспечивающим прирост объемов производства всех видов сельскохозяйственной продукции. Свины отличаются от других видов сельскохозяйственных животных рядом ценных биологических и хозяйственных особенностей, определяющих их высокую мясную продуктивность. Они имеют высокую плодовитость (многоплодие) и интенсивность роста: при сбалансированном, биологически полноценном кормлении свиноматки обычно дают в среднем за опорос 10–12 поросят.

Одной из непростых задач в отрасли свиноводства является сохранение и выращивание приплода. В результате применения достижений селекции, технологии кормления и содержания свиней отмечается заметное увеличение числа поросят при рождении, а отход их в подсосный период практически остался на прежнем уровне. Поскольку период супоросности у свиноматок сравнительно короткий – 112–114 дней, это позволяет получить за год 2–2,5 опороса и соответственно 20–25 поросят. Живая масса новорожденных поросят составляет от 0,5 до 1 % от массы тела матери. Вследствие высокой интенсивности роста живая масса поросят к 6–8-дневному возрасту удваивается, к месячному увеличивается в 6–7 раз, а к 60-дневному в среднем в 20 раз, т. е. достигает 20 кг. Высокую интенсивность роста обуславливает и быстрое половое созревание свиней, которого они достигают к 7–8 месяцам, а живой массы 100 кг свиньи способны достичь за 6–6,5 месяцев при среднесуточном приросте живой массы 700–800 г [1].

Таким образом, при интенсивном ведении отрасли свиноводства в среднем от одной свиноматки в год можно получать до 2 т свинины, рекордная масса потомства – 5 т. В Республике Беларусь создана высокоразвитая отрасль свиноводства, обеспечивающая продовольственную безопасность страны и экспорт части продукции в страны ближнего зарубежья.



## Основная часть

Среди 15 ведущих стран Европы по производству свинины в расчете на одного жителя Беларусь занимает седьмое место. В настоящее время в мире и в нашей стране свинина в общих заготовках мяса занимает 35–50 %. Резервы повышения эффективности отрасли свиноводства очень большие. Одним из критериев увеличения производства мяса и эффективности селекции свиней является повышение многоплодия свиноматок, а также снижение отхода молодняка в подсосный период. В последние годы размер гнезда в свиноводстве значительно увеличился благодаря прогрессу в генетике. Большой приплод поросят на одну свиноматку часто ведет к повышению количества мелких поросят. Такие поросята менее жизнеспособны, поэтому больше подвержены падежу до отъема. Помимо этого, бывают случаи, когда у свиноматки рождается больше поросят, чем она имеет сосков.

Выращивание поросят в подсосный период – самое сложное звено во всей цепи технологических процессов в свиноводстве. На этот период приходится до 80 % всего отхода поросят [2]. В начальный период жизни единственным источником питательных веществ для поросят является молоко свиноматки (см. рисунок).



Кормление поросят-сосунов

Молозиво свиноматки отличается очень высоким содержанием гамма-глобулинов и связанных с ними антител, которое постепенно снижается, оставаясь все же значительным в течение нескольких суток. Пассивная иммунизация новорожденных поросят наступает сразу же после первого приема молозива, поскольку кишечная стенка в течение, по крайней мере, первых суток легкопроницаема. Считается, что всасывание гамма-глобулинов из кишечника прекращается примерно через 36 ч после рождения. Всосавшиеся антитела сохраняются в сыворотке крови поросят в течение 6 недель после рождения.

Сразу же после рождения или по окончании опороса (если он был продолжительным) поросят обязательно нужно подсадить к свиноматке. Даже в случае каких-либо исключительных обстоятельств поросенок должен обязательно получить молозиво в течение первых 2 ч после рождения.

Одна из самых важных биологических особенностей, имеющих большое практическое значение, – нестабильность углеводного обмена у молодых поросят. Новорожденные поросята, как правило, имеют весьма ограниченный запас метаболически доступной энергии (в виде гликогена печени). Уже в течение первых двух дней происходит резкое (иногда 10-кратное) снижение уровня глюкозы в крови (гипогликемия) даже в условиях нормального молозивного питания новорожденных поросят.

Вследствие чрезвычайно слабой метаболической приспособляемости поросят к неблагоприятным факторам гипогликемия усиливается в условиях голодания и снижения температуры окружающей среды. Само по себе голодание поросят в первые 2–3 дня после рождения сопрово-

ждается значительным снижением температуры тела, что, в частности, объясняется несовершенством системы терморегуляции у новорожденных (кроме того, после рождения поросенка наступает фаза новорожденности (7–10 суток). Временно снижается температура тела на 1,5–3 градуса, на 5–6 % – живой вес, за счет воды повышается кровяное давление, устанавливается ритмичность дыхания. Эта фаза самая критическая. Первые поросята рождаются крупные – 1,3–1,4 кг, у последующих вес снижается до 0,6–1 кг. До 30 дней половой диморфизм выражен слабо, т. е. свинки и хрячки дают одинаковые привесы, так как слабо развиты половые железы. А к двум месяцам хрячки опережают свинок на 10–12 %. Гипогликемия и гипотермия, как правило, сопровождаются значительными потерями живой массы и вызывают гибель поросят, если своевременно не исправлены погрешности кормления и содержания.

Иногда критическое положение в результате гипогликемии создается даже у поросят, находящихся в нормальных условиях кормления. Это возможно при переохлаждении.

С учетом этой физиологической особенности питания новорожденных, в сильной степени зависящей также от условий содержания, формируются важные технологические правила по кормлению и содержанию новорожденных поросят, а также свиноматок в конце супоросности и в течение подсосного периода.

Следует учитывать, что даже при хорошем развитии вымени передние соски свиноматки бывают более молочными, чем задние. При первом кормлении поросят распределить с таким расчетом, чтобы мелким и слабым достались передние соски, а крупным и активным – задние. С 3–5-го дня поросята сами разбирают соски. Молочная продуктивность свиноматок увеличивается до 3–4-й недели подсосного периода, затем снижается. Так, за первую неделю лактации у свиноматки образуется около 16,2 % общего количества молока, за вторую – 23,3 %, третью – 21,2 %, четвертую – 16,8 %, пятую – 13,1 %, шестую – 9,4 %. Всего за первый месяц подсосного периода секретируется примерно 60 % всего молока. При этом, по мере роста поросят увеличивается их потребность в питательных веществах, а молочная продуктивность свиноматки растет менее интенсивно и то только в течение первых двух-трех недель. Поэтому молоком матери полностью удовлетворяются запросы поросят в питании только в первую неделю их жизни.

Далее ситуация меняется. Так, во вторую неделю лактации обеспеченность поросят питательными веществами за счет молока свиноматки составляет 92,5 %, в третью – 82 %, четвертую – 75,5 %, пятую 66,5 %, шестую – 54,6 %, седьмую – 41,8 % и восьмую – 28,9 %. В таблице 1 показана динамика питания подсосных поросят и баланс энергии.

*Таблица 1 – Динамика питания подсосных поросят и баланс энергии*

Показатели	0–7 дней	8–14 дней	15–21 дней	22–28 дней
Суточное выделение молока у свиноматок в среднем на поросенка, кг	0,72	0,83	0,83	0,87
Суточное выделение переваримой энергии с молоком на поросенка, ккал	893	1 029	1 029	1 079
Суточная потребность поросенка в переваримой энергии, ккал	750	1 113	1 256	1 429
Баланс переваримой энергии, ккал	+143	–84–100	–227–399	–350–380

Из данных таблицы следует, что поросятам уже с 7 дня подсосного периода необходимо предоставлять подкормку. При этом также видно, что к 21 дню подсосного периода обеспеченность энергией (ккал) составляет не более 75 %. Следует отметить, что одна из главных особенностей поросят-сосунов – это интенсивный рост, который сопровождается аналогичным энергетическим обменом. Так, по итогам первой декады жизни их масса увеличивается не менее чем в 2 раза, месяца – в среднем в 7 раз. Значение их суточного энергетического обмена может достигать 550 МДж на кило массы. Для сравнения: у взрослых особей этот показатель не превышает 72,1 МДж [3].

Основная задача при организации кормления поросят-сосунов заключается в раннем приучении их к подкормкам и кормам, а также в предупреждении поносов и анемии, что наряду с хорошей молочностью маток способствует интенсивному росту и развитию молодняка. Поросята рождаются на более ранних стадиях развития, чем травоядные. Они рождаются с очень маленьким объемом желудка: 25 куб. см на 1 кг живой массы, а к моменту отъема – уже 100 куб. см/кг.

Поэтому вначале пищу переваривает в основном кишечник. Поросята-сосуны обладают высокой энергией роста и к двухмесячному возрасту увеличивают свою живую массу в 14–20 раз. Поросята рождаются с 8 молочными зубами (4 клыка + 4 боковых резца), кончики зубов им удаляют. Зубы развиваются с 15 до 30-дневного возраста, поэтому с этого времени нужно вводить твердые корма. Сосут через час – 3–4 мин. Вначале массируют, затем 40–50 секунд сосут. В первые 14–20 дней в желудке поросят отсутствует соляная кислота. Это защитная функция. В этот период закладываются основы иммунитета: белок с гамма-глобулином попадает в кровь, образуя иммунные тела. У поросят днем выделяется 31 %, а ночью 69 % желудочно-кишечного сока, у взрослых – наоборот.

Для достижения главной цели – получения максимально высокой продуктивности – кормление поросят осуществляется на строго нормированной основе. В таблице 2 показана схема подкормки поросят.

Таблица 2 – Схема подкормки поросят

Подкормка	С какого дня
Вода кипяченая охлажденная и минеральные корма	с 3-го
Молоко коровье цельное и снятое (свежее или в виде ацидофильной простокваши), поджаренное зерно	с 5-го
Кисель овсяный и каши	с 8-го
Бобовое сено и труха	с 10-го
Сочные корма:	
Морковь	с 10-го
Свекла	с 20-го
Картофель	с 25-го
Зеленая трава	с 12–15-го
Сенной настой	с 30-го

Сухие корма засыпают в небольшие корытца и меняют каждый день. Воду и минеральную подкормку ставят также в специальных корытцах так, чтобы свиноматка не могла их достать. В качестве минеральной подкормки для поросят наиболее пригодны красная глина, древесный уголь, заготовленный с осени дерн. Когда поросята привыкнут к воде и минеральным смесям, на то же место ставят корытце с молоком, киселем, кашей. Корма должны быть все время свежими, так как поросята очень восприимчивы к желудочным заболеваниям.

Корнеплоды сначала дают протертыми на терке, а позже мелко нарезанными. Картофель скармливают вареным и охлажденным (в первые дни – очищенным и растертым) в смеси с концентратами.

Поросята очень любят картофельное пюре, смешанное с молоком или обратом до густоты сметаны. Но надо иметь в виду, что этот корм быстро закисает, поэтому готовят его понемногу и в кормушке оставляют не более чем на 15 мин, затем кормушку тщательно промывают, остатки скармливают взрослому животному.

Сенную труху и сенной лист можно класть в корытце на целый день, можно также давать в смеси с концентратами. Заваривать сенной лист не следует, так как теряется его витаминная ценность [4].

Зимой источником витаминов для поросят являются сенной настой, тертая или мелко нарезанная красная морковь, сухая крапива [5].

Молоко как цельное, так и снятое, считается лучшей подкормкой для поросят-сосунов. Его дают подогретым, но ни в коем случае не горячим и не разбавленным водой. В среднем за первые два месяца одному поросенку требуется 6,5–10 л цельного и 5–7 л снятого молока.

Хороших поросят можно вырастить и без молочной подкормки – на овсяном молоке.

Поросенка до двух месяцев можно кормить, придерживаясь следующих норм (таблица 3).

Установлено, что в 1 кг сухого вещества рациона для поросят-сосунов должно содержаться следующее количество энергии, питательных и биологически активных веществ (таблица 4) [6].



Таблица 3 – Примерные суточные нормы кормов для одного поросенка до двухмесячного возраста (в граммах)

Возраст		Молоко		Концентраты	Сенная труха	Корнеплоды		Соль	Мел
месяц	декада	цельное	снятое			морковь	картофель		
1	1-я	50	–	25	–	–	–	2	3
	2-я	150	–	100	10	10	20	3	3
	3-я	250	150	150	20	15	50	4	5
2	1-я	300	200	200	50	20	100	4	5
	2-я	150	250	300	100	25	200	5	10
	3-я	–	450	400	150	30	450	10	15

Таблица 4 – Содержание количества энергии, питательных и биологических активных веществ в 1 кг сухого вещества

Кормовые единицы	Значение
Обменная энергия, МДж	1,31–1,40
Переваримый протеин, г	14,5–15,5
Лизин, г	220–270
Метионин + Цистин, г	12–22
Триптофан, г	7–13
Кальций, г	3,1–4,2
Фосфор, г	9–10
Железо, мг	6–8
Цинк, мг	90–100
Витамин А (ретинол), тыс. МЕ	40–50
Витамин D (кальциферол), тыс. МЕ	5–6

Многие практики недооценивают значение воды при выращивании поросят. Однако исследованиями установлено, что только за счет правильного обеспечения поросят чистой свежей водой можно значительно повысить их отъемную массу. Молоко для поросенка является пищей, но оно ни в коей мере не удовлетворяет его потребности в воде. Поэтому в подкормочных станках для поросят должно постоянно находиться корыто с чистой свежей водой, которую необходимо менять не реже 2 раз в сутки. Перед подачей такую воду тщательно прогревают до температуры 25–30 °С.

### Заключение

Продуктивные и воспроизводительные качества свиней в значительной степени определяются их ростом и развитием в ранние периоды жизни. Из слабых, больных, с низкой живой массой поросят невозможно получить высококачественное поголовье. Никакие условия кормления и содержания в старшем возрасте не способны восстановить упущенное, поэтому организации кормления поросят-сосунов и поросят-отъемышей придается первостепенное значение.

### Список использованных источников

1. Смолкин, Р. В. Выращивание поросят в многоплодном помете / Р. В. Смолкин, В. И. Комлацкий // Современные проблемы в животноводстве: состояние, решения, перспективы : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летнему юбилею академика РАН В. Г. Рядчикова. – Краснодар, 2019. – С. 251–256.
2. Проведение опоросов, содержание и кормление поросят-сосунов, ранний отъем. – URL: <https://studfile.net/preview/2465151/page:37/> (дата обращения: 22.11.2024).
3. Плаксин, И. Е. Повышение эффективности выращивания поросят-сосунов за счет применения роботизированных и автоматизированных средств / И. Е. Плаксин, А. В. Трифанов // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2019. – № 2 (99). – С. 301–310.
4. Кормление и содержание поросят-сосунов. – URL: <https://izhagro.ru/stati/kormlenie-i-soderzhanie-porosyat-sosunov.html> (дата обращения: 22.11.2024).
5. Когда дают поросётам сухое молоко. – URL: <https://fermilon.ru/hozyajstvo/zhivotnovodstvo/ztsm-dlya-porosyat-i-sviney-instruktsiya-proportsii.html> (дата обращения: 22.11.2024).
6. Кормление поросят-сосунов и отъемышей. – URL: <https://www.sinref.ru/razdel/04800selskoe/08/214893.html> (дата обращения: 27.11.2024).

**Е. Л. Жилич, С. А. Цалко, Ю. Н. Рогальская**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: npc\_mol@mail.ru*

## **ПРИНЦИП РАБОТЫ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОМЕРОВ ТЕЛА И ЖИВОЙ МАССЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ**

*Аннотация.* Рассмотрен принцип работы системы определения промеров тела и живой массы сельскохозяйственных животных.

*Ключевые слова:* промер, живая масса, функциональный блок, идентификация, ридер, компьютерное зрение.

**E. L. Zhilich, S. A. Tsalko, Yu. N. Rogalskay**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: npc\_mol@mail.ru*

## **THE PRINCIPLE OF OPERATION OF THE SYSTEM FOR DETERMINING BODY MEASUREMENTS AND LIVE WEIGHT OF FARM ANIMALS**

*Abstract.* The principle of operation of the system for determining body measurements and live weight of farm animals is considered.

*Keywords:* measurement, live weight, functional unit, identification, reader, computer vision.

### **Введение**

На сегодняшний день в сельском хозяйстве одной из наиболее трудоемких технологических операций является взвешивание животных. Перевеска скота в сельскохозяйственных организациях проводится не менее двух раз в месяц и требуется для определения состояния здоровья животного, количества необходимого корма, готовности к убою и пр.

Для взвешивания используются либо стационарные, либо передвижные весы, что требует значительных затрат времени и человеческих ресурсов. Другие параметры животных (например, объем тела, площадь шкуры и т. п.) в настоящее время определяются только после убоя, поскольку это очень затратный и в целом небезопасный процесс.

Поэтому для повышения эффективности процесса определения живой массы и промеров тела животного необходима разработка устройства для дистанционного определения данных показателей, что в конечном итоге позволит снизить риск опасной реакции животных на стресс и существенно сократить время получения промеров.

Таким образом, очевидны и актуальность работы, и необходимость создания отечественных дистанционных систем определения промеров тела и живой массы сельскохозяйственных животных, которые помогут в решении стратегических задач, поставленных перед животноводческой отраслью сельского хозяйства нашей страны до 2025 г.

### **Основная часть**

Система определения промеров тела и живой массы сельскохозяйственных животных состоит из программной и аппаратной составляющих. Аппаратная реализация системы (рисунок 1) со-

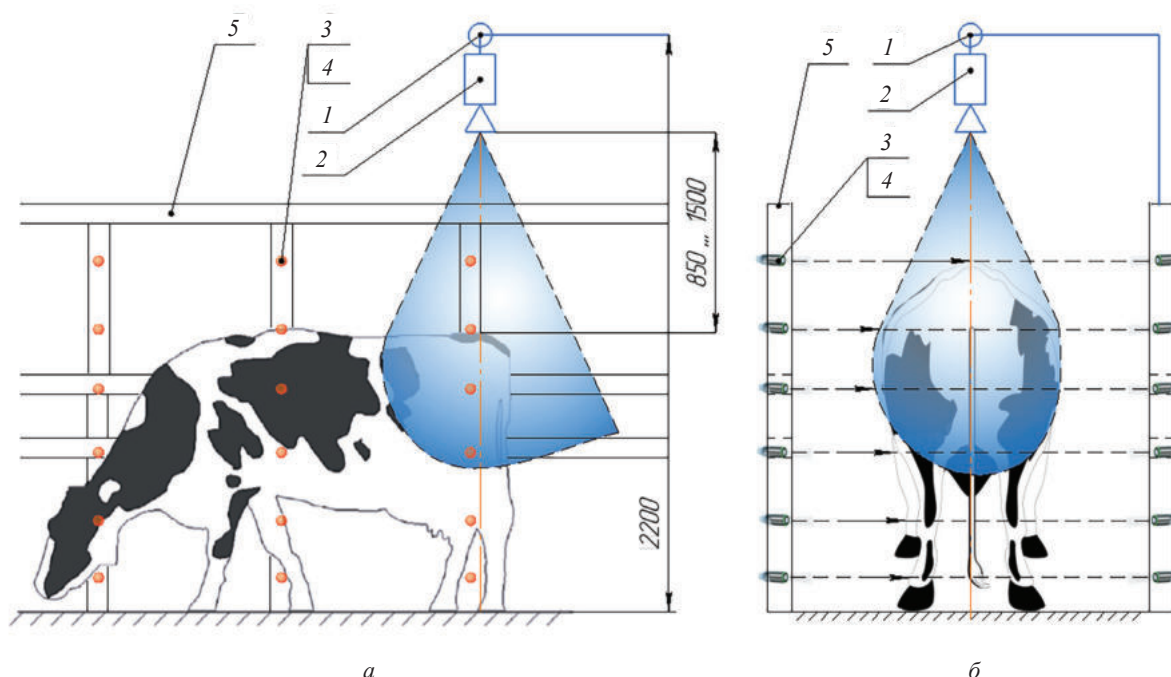


Рисунок 1 – Аппаратная реализация системы определения промеров тела и живой массы:  
 а – вид сбоку; б – вид сзади; 1 – поворотный кронштейн; 2 – 3D-камера;  
 3 – ультразвуковой датчик расстояния; 4 – фиксатор; 5 – рама

стоит из поворотного кронштейна 1, конструкция которого позволяет фиксировать 3D-камеру 2 и осуществлять регулировку ее расположения относительно положения животного до момента получения четкого снимка, фиксаторов 4, ультразвуковых датчиков расстояния 3, смонтированных на раме 5 [1].

Поворотный кронштейн 1 позволяет осуществлять регулирование положения 3D-камеры в вертикальной и горизонтальной плоскостях, с изменением угла наклона, обеспечивая полный захват объекта.

3D-камера 2 предназначена для получения потока данных. 3D-камера способна рассчитывать и выводить пространство точек в виде многомерного массива  $I \times J \times K$ , где  $I$  и  $J$  – разрешение камеры;  $K$  – координаты  $X, Y, Z$ . Вывод полученных данных производится в формате «.dat». Скорость записи видеоизображений – в среднем 5 кадров/с, что позволит получить от 3 до 5 снимков каждой коровы в исходном изображении.

Ультразвуковые датчики расстояния 3 отправляют ультразвуковую волну и начинают отсчет времени. После того, как волна дошла до препятствия и отразилась, она фиксируется в приемнике датчика, а время останавливается. Зная время с момента отправки до получения волны, а также скорость звука, можно определить расстояние до препятствия. Датчик проделывает эти действия самостоятельно и возвращает значение расстояния.

Фиксатор 4 предназначен для крепления ультразвукового датчика расстояния, обеспечивая при этом его защиту и неподвижность.

Рама 5 предназначена для отделения пространства для выполнения операции определения промеров тела и живой массы, в данном случае крупного рогатого скота, а также для фиксации всех аппаратных элементов системы.

Данная система в зависимости от доильного зала может располагаться:

- индивидуально на каждом доильном месте (целесообразно при роботизированной технологии доения) (рисунок 2);
- в коридоре преддоильного зала (рисунок 3);
- в коридоре возвратной галереи (рисунок 4).

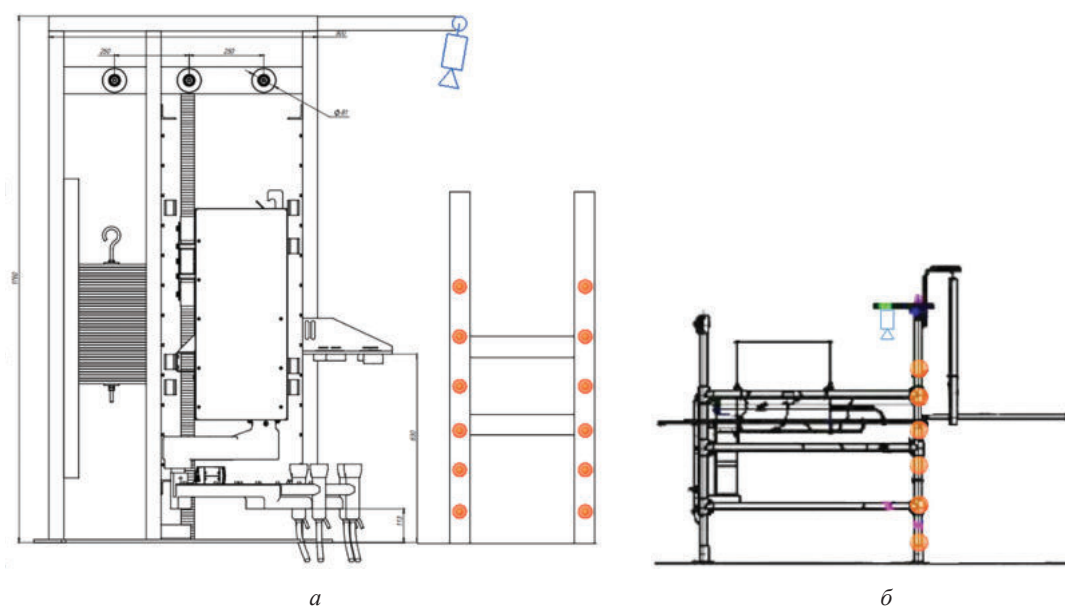


Рисунок 2 – Расположение системы определения промеров тела индивидуально на каждом доильном месте:  
*а* – доильное место роботизированной доильной системы; *б* – доильное место при машинной технологии доения

Данное расположение целесообразно только при роботизированной технологии доения, при условии, что для определения положения коровы и снятия данных будет использован один оптический элемент.

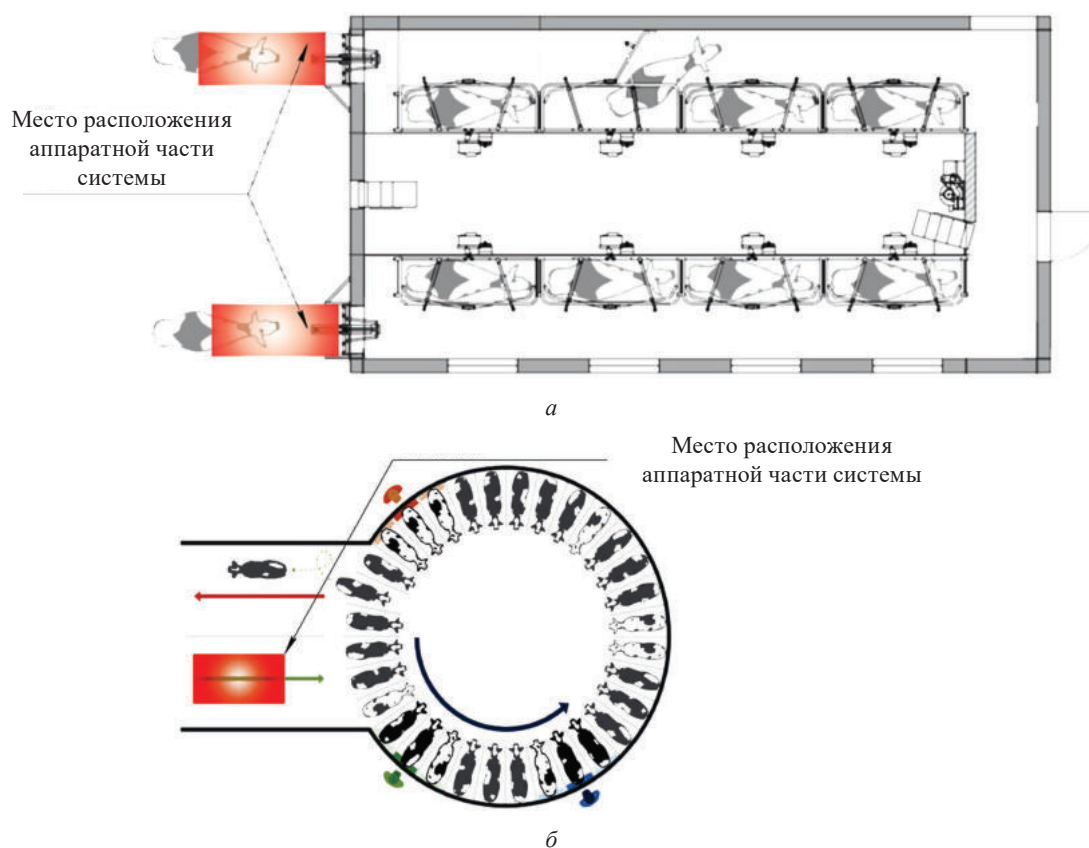


Рисунок 3 – Расположение системы определения промеров тела в коридоре в преддоильном зале:  
*а* – доильный зал (установка «Параллель»); *б* – доильный зал (установка «Карусель»)

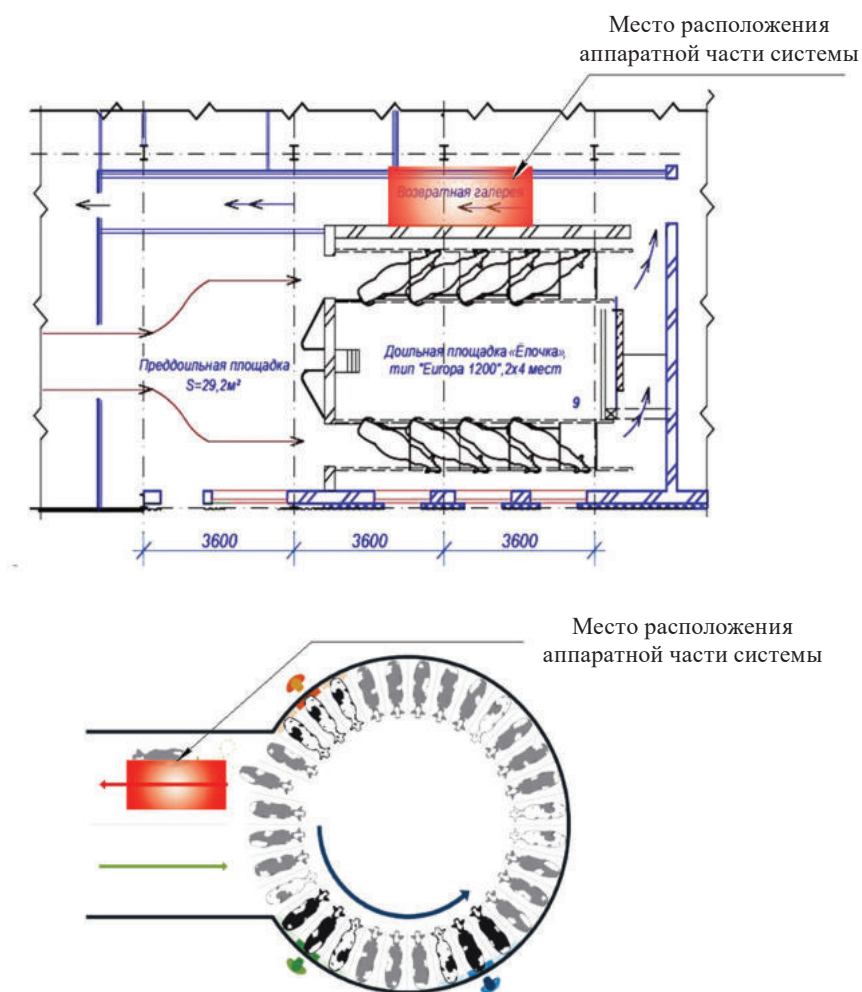


Рисунок 4 – Расположение системы определения промеров тела в коридоре возвратной галереи

Данное расположение можно реализовать практически на базе любого доильного зала. Применение данной схемы расположения аппаратной части системы позволяет определять живую массу непосредственно после процесса доения.

Для животных, выращиваемых на откорме, для определения живой массы можно использовать данную систему при монтаже в коровнике в удобном месте с учетом наличия ровной поверхности и соблюдения высоты установки измерительных и оптических устройств.

Принцип работы системы определения промеров тела и живой массы условно можно разделить на три функциональных блока.

*Блок 1 (идентификации и первичной обработки оптических данных):*

- идентификация животного – осуществляется через ИК-канал между транспондером и ИК-ридером;
- использование системы компьютерного зрения: предусмотрено снятие данных, расчет и вывод массива точек в виде многомерного массива  $I \times J \times K$ , где  $I$  и  $J$  – разрешение камеры,  $K$  – координаты  $X, Y, Z$ ;
- вывод и обработка цифровых данных по одному из трех вариантов: Point Cloud, в цветовом спектре RGB-D, бинарное изображение;
- определение области интереса (линейные размеры) и оценка BCS в соответствии с классами (1–5), определение оценки.

*Блок 2 (линейный):*

- использование комплектов ультразвуковых датчиков расстояния для построения дополнительных точек и определения заданного количества линейных размеров.



*Блок 3 (вычислительный):*

- применение алгоритма нормализации угла;
- вывод и объединение данных;
- использование созданных таблиц по определению живой массы по линейным параметрам туловища;
- использование коэффициента корреляции  $r$  между баллом упитанности, живой массой, длиной, шириной и высотой измеряемых объектов;
- объединение данных с целью сокращения погрешности определения живой массы;
- вывод информации.

*Блок идентификации и первичной обработки оптических данных.* Идентификация животного осуществляется через ИК-канал между транспондером и ИК-ридером. Транспондер представляет собой автономное устройство типа «прием-ответ», которое при получении ИК-сигнала от ридера посылает в ответ информацию. Устройство заключено в корпус с прозрачной крышкой для прохождения ИК-сигнала.

Ридер представляет собой коробку с прозрачной крышкой, под которой находится ИК-матрица. Прозрачной стороной коробка направлена на вероятную зону считывания транспондеров. В рабочем режиме передает ИК-сигнал, ожидает ответа и обрабатывает его при получении.

Обработку цифровых данных можно производить по трем вариантам:

- в цветовом спектре RGB-D;
- в Point Cloud;
- в амплитуде 1 500 ед. (обработка бинарных изображений).

Определение области интереса осуществляется в двух направлениях, а именно: снятие линейных размеров и определение класса упитанности.

Наибольший интерес представляют те точки, которые находятся возле контура туловища и описывают его периметр. В дальнейшем разработанный алгоритм должен быть основан на методе наименьших квадратов.

Коэффициент корреляции [2]  $r$  между баллом упитанности, живой массой, обхватом, шириной и глубиной груди находят как фенотипическую корреляцию для больших выборок. Коэффициент регрессии  $R_{xy}$  (в отличие от коэффициента корреляции) вычисляется как парная линейная регрессия по формуле:

$$R_{xy} = r \left( \frac{\delta x}{\delta y} \right),$$

где  $r$  – коэффициент корреляции;  $\delta x$ ,  $\delta y$  – среднеквадратичное отклонение первого и второго признаков.

Контурный анализ представляет собой метод описания, хранения, распознавания, сравнения и поиска графических образов (объектов) по их контурам.

Под контуром понимается кривая, которая описывает границу объекта на изображении. Использование данного подхода предполагает, что контур содержит достаточно информации о форме объекта, при этом внутренние точки не учитываются. Рассмотрение только контуров объектов позволяет уйти от пространства изображения к пространству контуров, что существенно снижает сложность алгоритмов и вычислений.

Главным достоинством контурного анализа является инвариантность относительно вращения, масштаба и смещения контура на тестируемом изображении. Он отлично подходит для поиска объекта некоторой заданной формы.

Однако описанные предположения о контуре накладывают существенные ограничения на область применения данного метода. Прежде всего, они вызваны проблемами выделения контура на изображении:

- при одинаковой яркости с фоном объект может не иметь четкой границы или может быть зашумлен помехами, что приводит к невозможности выделения контура;
- перекрытие объектов или их группировка приводит к тому, что контур выделяется неправильно и не соответствует границе объекта.

Таким образом, контурный анализ имеет довольно слабую устойчивость к помехам и любое нарушение целостности контура или плохая видимость объекта приводят либо к невозможности детектирования, либо к ложным срабатываниям. Однако простота и быстроедействие контурного анализа, позволяют вполне успешно применять данный подход при наличии четко выраженного объекта на контрастном фоне и отсутствии помех.

При определении упитанности по маклокам сначала производится поиск всех контуров и формируется шаблон каждого объекта – массив контуров, пронумерованный по порядку появления. Затем аналогичным образом ищутся все контуры и последовательно сравниваются с полученными ранее шаблонами.

Если процент совпадения достаточно велик – объект считается найденным. Однако для этого целесообразно привести картинку к оттенкам серого, бинаризовать полученное изображение и после этого воспользоваться функцией.

Для оценки полученных контуров можно использовать функции «вычисляет площадь контура» и «рассчитывает длину контура».

Имея для каждой точки некоторый вектор признаков  $f_i \in R_p$ , можно применить глобальную агрегацию AGGR, например, Global Average Pooling или Global Max Pooling:

$$AGGR:(f_{ii}^n = 1) \rightarrow f \in R^p.$$

Таким образом из набора векторов для точек получим общий вектор признаков, описывающий все облако.

Полученный вектор описывает облако в целом, но точки при таком подходе по-прежнему не обмениваются информацией: ни одна из них «не знает», что происходит вокруг.

Чтобы исправить недостатки, рассмотрим следующий базовый «слой» преобразования облака:

- агрегируем векторы признаков точек  $f_i$ , получаем общий вектор признаков  $f$  для облака в целом;

- для каждой точки конкатенируем ее вектор признаков с вектором признаков облака и строим новый вектор признаков  $g_i = \text{concat}(f_i, f)$ ;

- применим MLP к вектору признаков каждой точки:  $f_i' = \text{MLP}(g_i)$ .

Такие слои можно применять последовательно, формируя сколь угодно глубокую архитектуру.

Затем необходимо взять очередной вектор  $f$ , полученный после агрегации всех векторов признаков точек, применить к нему MLP, получить логиты и обучать полученную сеть на cross-entropy loss.

Для сегментации необходимо точно после очередного слоя применить MLP с необходимыми размерами к каждому вектору  $f_i$  и получить логиты.

Синий прямоугольник наверху соответствует одному описанному выше «слою», но вместо одного MLP здесь последовательность двух MLP, между которыми вставлена операция feature transform. Эта операция заключается в следующем:

- с помощью дополнительной сети по облаку в целом строим матрицу;

- эта матрица умножается на вектор признаков каждой из точек.

Это не ключевой элемент архитектуры и им можно пренебречь.

PointNet по произвольному набору точек может построить вектор, описывающий этот набор в целом. С его помощью мы можем описать многослойную архитектуру, напоминающую энкодер сверточной сети, каждый слой которой будет выглядеть следующим образом.

1. Сэмплируем  $N$  ключевых точек в облаке, где  $N$  меньше размера облака (как правило, в несколько раз).

2. Вокруг каждой ключевой точки фиксируем шар радиуса  $R$ .

3. Для каждого шара находим все точки, которые в нем лежат.

4. Запускаем PointNet с одними и теми же весами для каждого шара.

5. Получаем новое облако из  $N$  точек, где каждой точке присвоен вектор признаков, полученный из PointNet.

Далее мы можем повторять эту процедуру, пока у нас не останется одна точка, т. е. один вектор признаков для всего облака в целом. Полученный эмбединг можно использовать для решения различных задач.

В эмбедингах каждый вектор – это уникальное представление объекта, преобразованное в числовую форму. Размерность вектора определяет, сколько координат используется для описания каждого вектора в пространстве.

В эмбедингах высокая размерность может означать более детализированное представление данных.

В качестве алгоритма сэмплирования предлагается Farthest Point Sampling (FPS). Он заключается в том, что мы сэмплируем точку, которая максимально удалена от текущего насэмплированного множества. Повторяем этот процесс до тех пор, пока не наберем достаточное количество точек.

Анализ изображения алгоритмами компьютерного зрения проходит следующие этапы (но некоторых этапов может и не быть).

1. Предобработка изображения. На этом этапе может происходить улучшение качества изображения, такое как увеличение контрастности, повышение резкости или наоборот, размытие изображения, чтобы удалить из него шумы и мелкие незначительные детали.

2. Промежуточная фильтрация. На этом этапе к изображению применяют различные фильтры для того, чтобы обозначить на изображении области интереса или облегчить работу специальным алгоритмам анализа изображения.

3. Выявление специальных признаков (фич): используется для выделения особых точек, контуров или каких-либо признаков.

4. Высокоуровневый анализ. На этом этапе по найденным признакам на изображении определяются конкретные объекты, и, как правило, их координаты. Так же на этом этапе может происходить сегментация либо какая-то иная высокоуровневая обработка.

Open CV (Open Source Computer Vision Library) – одна из самых популярных библиотек для работы с компьютерным зрением. Open CV предоставляет большое количество функций для обработки изображений, анализа видео и распознавания объектов.

Num Py – библиотека для работы с многомерными массивами и матрицами, включая математические операции и статистическую обработку. Num Py широко используется в обработке изображений и компьютерном зрении для работы с пикселями и матрицами изображений.

*Блок определения линейных размеров.* Ультразвуковой датчик применяется для обнаружения и определения расстояния до объекта, а также для контроля их движения. Передатчик излучает звуковые колебания, частота которых превышает 20 кГц. Они в виде волн «прошивают» пространство, и, встречаясь с твердыми предметами, отражаются от них и попадают в приемник датчика. Электронная схема подсчитывает расстояние до объекта согласно следующей формуле:

$$R = tV/2,$$

где  $R$  – искомое расстояние;  $t$  – промежуток времени между отправкой и приемом ультразвуковой волны;  $V$  – скорость звука.

Результат произведения делится на два, так как излучение проходит путь сначала от датчика к объекту, затем обратно.

Данные, полученные от датчиков, будут сопоставляться с наработанной базой линейных размеров в различном сечении по высоте их установки.

Для облегчения работы с датчиком расстояния на arduino можно использовать библиотеку NewPing. Она не имеет проблем с пинговыми доступами и добавляет некоторые новые функции.

*Блок вычислительный.* Нормализация угла в заданном диапазоне – это приведение угла, входящего за границы диапазона, к углу в указанном диапазоне. При этом угол должен оставаться «визуально» таким же.

Усреднение углов в цифровой обработке сигналов (ЦОС) используется для снижения влияния шумов.

*Вывод и объединение данных.* Pandas DataFrame представляет собой двумерную, изменяемую по размеру, потенциально гетерогенную табличную структуру данных с помеченными осями



(строками и столбцами). DataFrame – это двумерная структура данных, т. е. данные выровнены в табличном виде по строкам и столбцам. Мы можем объединять фрейм данных различными методами.

В Dataframe `df.merge()`, `df.join()` и `df.concat()` методы помогают в объединении и конкатенации различных dataframe.

Для объединения фрейма данных мы используем `concat()` функцию, которая помогает в объединении фрейма данных. Мы можем объединить фрейм данных множеством различных способов, это:

- объединение фрейма данных с помощью `.concat()`;
- объединение фрейма данных путем установки логики в осях;
- объединение фрейма данных с помощью `.append()`;
- объединение фрейма данных путем игнорирования индексов;
- объединение фрейма данных с помощью групповых ключей;
- объединение со смешанными `ndim`.

Объединение фрейма данных с помощью `.concat()`:

Чтобы объединить фрейм данных, мы используем `.concat()` функцию, эта функция объединяет фрейм данных и возвращает новый фрейм данных.

При объединении предусмотрено использование созданных таблиц по определению живой массы по линейным параметрам туловища; использование коэффициента корреляции  $r$  между баллом упитанности, живой массой, длиной, шириной и высотой измеряемых объектов.

### **Заключение**

Для снижения погрешности при определении живой массы сельскохозяйственных животных необходимо использовать корреляционную связь между живой массой и баллом упитанности.

В качестве рабочих органов устройства для дистанционного определения промеров тела и живой массы сельскохозяйственных животных необходимо использовать современную оптико-вычислительную технику и ультразвуковые датчики расстояния.

Для обработки полученного потока информации необходимо первоначально использовать встроенное программное обеспечение системы машинного зрения с учетом самостоятельно доработанного алгоритма для вспомогательных устройств.

### **Список использованных источников**

1. BCS Cowditiion от компании Байер. – URL: <https://dairynews.today/news/bcs-cowditiion-ot-kompanii-bayer.html> (дата обращения: 17.05.2024).
2. Бесконтактная оценка упитанности молочных коров с использованием ToF-технологии / Д. Ю. Павкин, С. С. Юрочка, Д. В. Шилин, С. С. Рузин // Агроинженерия. – 2021. – № 2 (102). – С. 39–44.

**Е. Л. Жилич, Ю. Н. Рогальская, В. В. Никончук, Д. В. Бернацкая**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: npc\_mol@mail.ru*

## **ОБРАБОТКА ПОТОКА ДАННЫХ ПРИ РОБОТИЗАЦИИ ДОЕНИЯ**

*Аннотация.* Определение метода обнаружения сосков при разработке отечественных роботизированных систем доения.

*Ключевые слова:* манипулятор, автоматизированная система, изображение, алгоритм, камера, сосок, алгоритм сглаживания.

**E. L. Zhilich, Yu. N. Rogalskay, V. V. Nikonchuk, D. V. Bernatskaya**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: npc\_mol@mail.ru*

## **DATA FLOW PROCESSING DURING MILKING ROBOTIZATION**

*Abstract.* Determination of the nipple detection method in the development of domestic robotic milking systems.

*Keywords:* manipulator, automated system, image, algorithm, camera, nipple, smoothing algorithm.

### **Введение**

В Республике Беларусь более 4 000 молочно-товарных ферм и комплексов, из них оборудованы доильными залами и роботами 1 670 объектов или 41 % от общего количества. На индустриальных фермах содержится почти 2/3 поголовья молочных коров и производится более 60 % от всего валового производства молока общественного сектора. На промышленную технологию производства молока в Брестской области переведено 50 % от всех молочно-товарных ферм и комплексов, в Витебской – 17 %, в Гомельской – 43 %, в Гродненской – 47 %, в Минской – 38 % и в Могилевской области – 50 %.

Мировой опыт молочного скотоводства подтверждает устойчивую тенденцию развития роботизированного доения как одного из перспективных направлений, обладающих целым рядом очевидных преимуществ. В то же время результаты, полученные на фермах и комплексах Беларуси, вынуждают задумываться над необходимостью выработки объективных критериев оценки эффективности и трансформации подходов, которые должны быть направлены на создание и дальнейшее развитие роботизированного доения, адаптированного к условиям Республики Беларусь.

Роботы для автоматизированной системы доения выполняют множество функций, а именно: подготавливают вымя перед подключением доильного аппарата; находят соски и подключают к ним доильный аппарат; своевременно снимают доильный аппарат; дезинфицируют сосковую резину; подсчитывают количество шагов коровы, сделанных ею после последней дойки (выявление коров в охоте). Из второстепенных функций – роботы подают сигналы селекционным воротам для выборки проблемных коров, измеряют удой молока, кислотность, температуру, количество соматических клеток и т. д.

### **Основная часть**

С целью разработки отечественной роботизированной системы доения и в рамках импортозамещения РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» совместно с ООО «Полиэфир АГРО» ведутся активные работы, направленные в первую очередь на позиционирование доильного оборудования на вымени коров.

Общий вид и 3D-модель разработанной системы позиционирования представлены на рисунке 1. В общем виде она состоит из механизма позиционирования, плеча, каретки, станины, ремня, противовеса.

За прототип трехмерного манипулятора принято техническое решение фирмы GEA Farm Technologies Mlone, так как оно имеет возможность интеграции не только в моноблочные системы доения, но и применимо в доильных залах типа «Карусель» и «Параллель», и обладает высокой степенью надежности и простотой конструкции по сравнению с другими производителями. 3D-модель манипулятора (вид сверху) представлена на рисунке 2.

Роботизированный манипулятор представляет собой систему, которая обеспечивает диапазон и свободу движений, необходимые для работы с широким спектром различных сосков: низко висящих или высоко расположенных, далеко отстоящих друг от друга или изогнутых под углом в 45 градусов. Маневренность манипулятора также важна для компенсации движения коров.

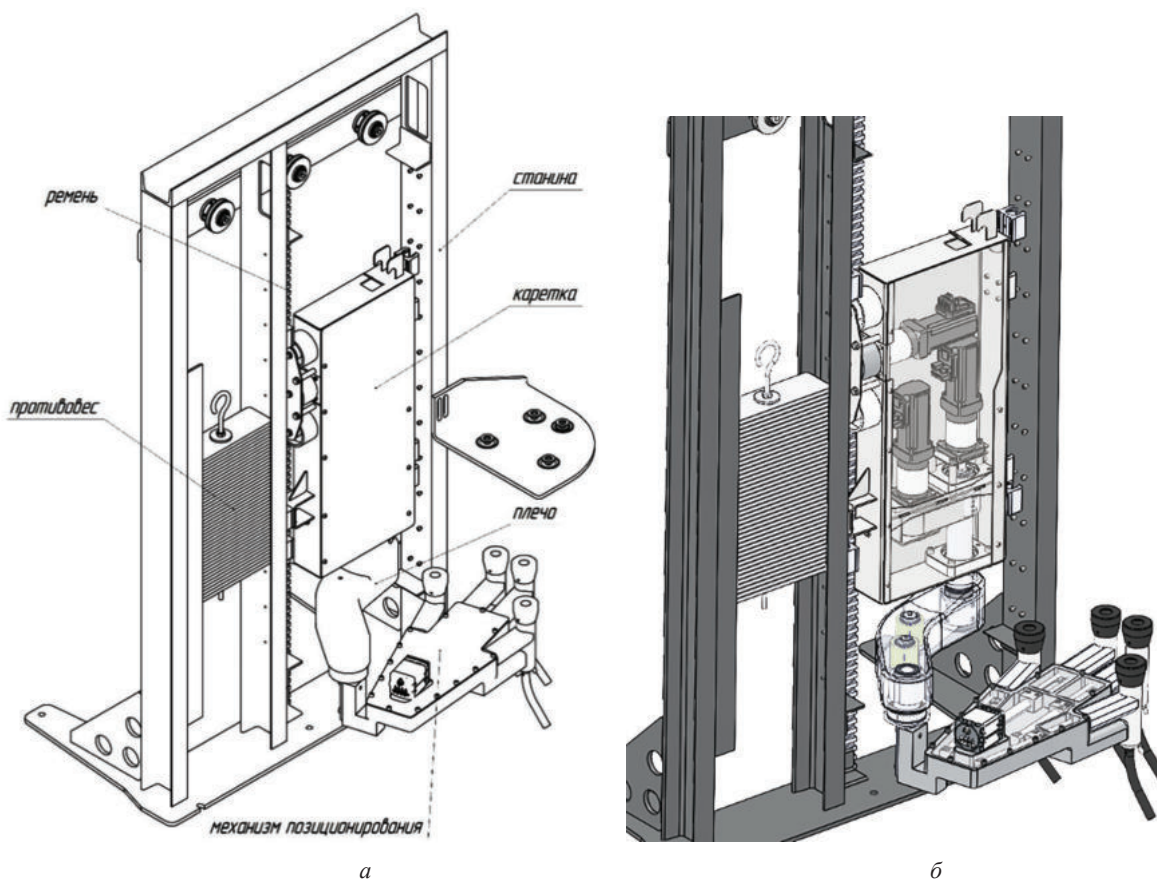


Рисунок 1 – Система позиционирования КПРД: а – общий вид; б – 3D-модель

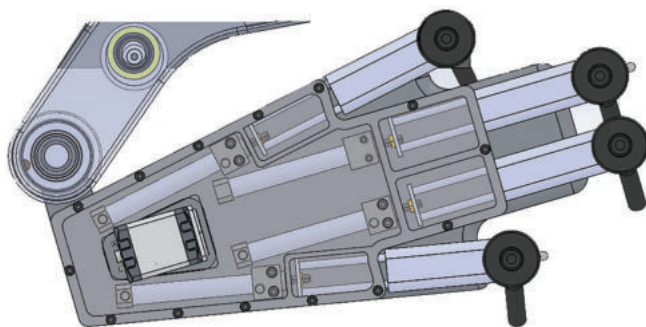


Рисунок 2 – 3D-модель манипулятора доения (вид сверху)

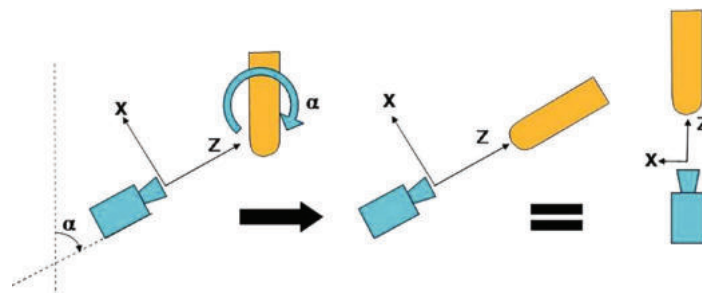


Рисунок 3 – Нормализация угла обзора

Управление системой позиционирования осуществляется с помощью разработанного программного обеспечения с учетом выбранного метода.

Метод позиционирования состоит из ряда этапов обработки и анализа изображений, которые вместе образуют общий алгоритм обнаружения сосков. В качестве входных алгоритм использует трехмерный набор данных с 3D-камеры, а также информацию о положении и ориентации камеры, полученную от роботизированного манипулятора, на котором установлена камера. В результате обработки входных данных алгоритм генерирует набор обнаруженных сосков, включая их положение, размер и ориентацию [1].

С точки зрения обработки изображения оптимальное расположение камеры – прямо под выменем коровы, смотрящая вверх на сосок. Это обеспечит обзор всего вымени и возможность измерения точек данных со всех сторон вымени [2]. Однако из-за особенностей расположения роботизированной руки и физиологии коровы камера будет расположена позади коровы и смотрит на соски под углом, который отклоняется от вертикали на угол  $\alpha$ . Первый шаг алгоритма – компенсация этого угла (нормализация угла обзора, рисунок 3).

Поворот на  $\alpha$  градусов вокруг оси  $x$  с последующим поворотом на  $\beta$  градусов вокруг оси  $y$  вычисляется с помощью матрицы вращения  $R$ :

$$R = \begin{bmatrix} \cos(\beta) & 0 & \sin(\beta) \\ \sin(\alpha)\sin(\beta) & \cos(\alpha) & -\sin(\alpha)\cos(\beta) \\ -\cos(\alpha)\sin(\beta) & \sin(\alpha) & \cos(\alpha)\cos(\beta) \end{bmatrix}. \quad (1)$$

С помощью XYZ-представления точек данных применяется вращение:

$$XYZ_{\text{вращ}} = XYZ \cdot R. \quad (2)$$

Для получения исходного набора данных определяется обратное вращение путем интегрирования исходной матрицы.

$$XYZ = XYZ_{\text{вращ}} \cdot R^{-1}. \quad (3)$$

Несмотря на то, что набор данных повернут и соски висят близко к вертикали, эти операции только имитируют вид прямо из-под соска и не восстанавливают ранее скрытые части.

Также на обнаружение сосков влияют помехи при видеонаблюдении (шумы). Для удаления шума из изображений используется низкочастотная фильтрация. Шум имеет гораздо более высокую частоту, чем основные характеристики изображения. В промышленном контроллере используется усредняющий фильтр, производится вычисление среднего значения интенсивности пикселя в области каждого пикселя для вычисления конечного отфильтрованного значения в каждом пикселе.

Для устранения размытости усредняющего фильтра используется алгоритм сглаживания каналов.

В начале работы алгоритма каждый пиксель рассматривается с равной вероятностью как содержащий сосок или кончик соска. В первую очередь определяются точки интереса в наборе данных – места, которые с большой вероятностью могут быть кончиками сосков. Поиск точек интересов осуществляется путем поиска точек локального минимума в данных (рисунок 4).

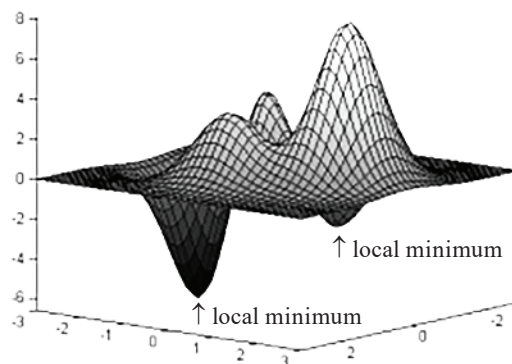


Рисунок 4 – Поиск локальных минимумов

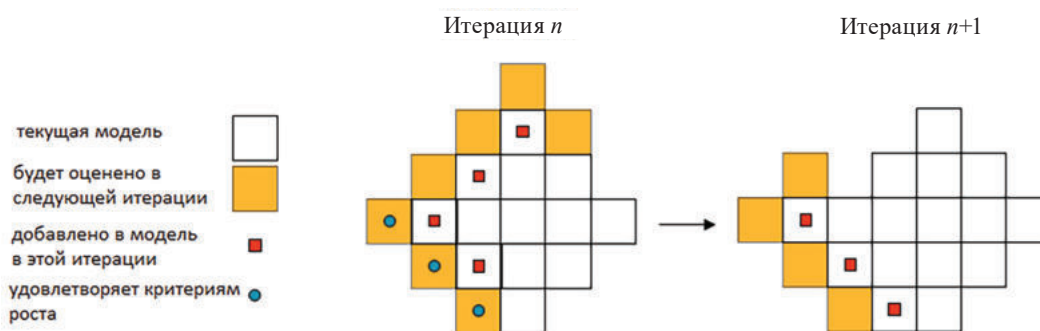


Рисунок 5 – Модифицированный метод роста области

Прежде всего определяются стартовые (начальные) точки. Начиная с начальной точки, область интереса постепенно увеличивается с помощью дополнительных пикселей, которые выполняют заданное условие или соответствуют определенным схожим свойствам с начальной точкой.

Для оценки соседних пикселей выбирается меньшее подмножество пикселей. Пиксели, которые будут оцениваться в следующем шаге, состоят из пикселей тех точек, которые в настоящее время находятся в модели и которые добавлены в модель во время предыдущей итерации (рисунок 5).

В этом методе есть два критерия: критерий роста и критерий остановки. Критерий роста основан на заданных параметрах формы соска, а точнее цилиндр, ограничивающий объем, окружающий кончик. Размер ограничивающего цилиндра определен как 2 см в диаметре и 5 см в высоту. Если точка находится внутри цилиндра или на заданном вертикальном или горизонтальном расстоянии от кончика соска, то точка считается принадлежащей соску и добавляется к области. При этом используется локальная система координат с началом в кончике соска и главной осью, проходящей через центр соска, чтобы компенсировать наклон соска.

Заданные параметры соска дают алгоритму предположения об ожидаемом результате, который используется в качестве критерия остановки. Когда больше нет пикселей, удовлетворяющих критерию роста, область больше не будет увеличиваться.

После достижения критерия остановки мы получаем двоичную модель, которая делит пиксели на принадлежащие соску и не принадлежащие ему. Эта модель используется для извлечения полного набора точек, принадлежащих соску.

Далее функцией подтверждения эти наборы точек сравниваются с заданными наборами вычисляемых свойств, которые соответствуют фактическим характеристикам реальных сосков. Это высота, ширина, ориентация, плотность точек, удлинение и другие свойства.

В конце алгоритм определяет по массиву точек кончика соска их положение и наклон.

Промышленный контроллер, получив от алгоритма определения положения сосков, дает команды манипулятору на передвижение в соответствующие координаты.



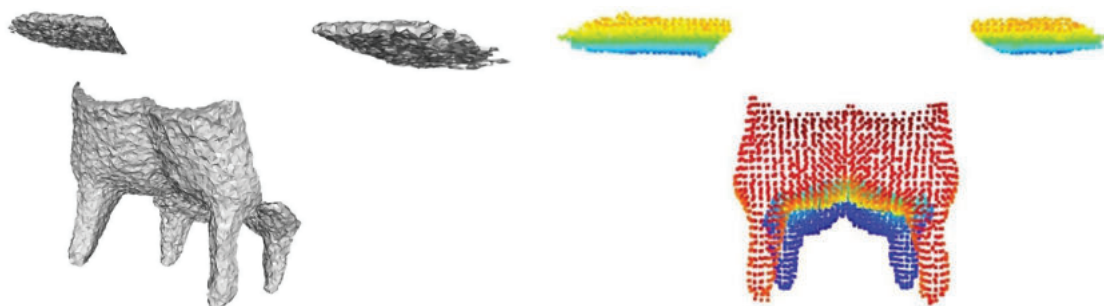


Рисунок 6 – Данные с 3D-камеры

В ходе подключения стаканов животное может менять положение в боксе и положение сосков будет меняться, поэтому алгоритм работает постоянно, отправляя команды на корректировку положения манипулятора.

Вследствие вариаций точности глубины и динамического диапазона измеренное расстояние для черных и белых объектов будет немного отличаться на одной и той же дистанции. Изучив эти изменения и составив зависимости различия, установлена необходимость компенсации программно. Для камеры выполняется черно-белая калибровка, она может быть скорректирована в зависимости от желаемого рабочего диапазона. Данные, полученные с 3D-камеры при обработке разработанным программным обеспечением, представлены на рисунке 6.

Источники света – массив из инфракрасных светодиодов ближнего света, которые модулируются синусоидально с частотой 20 МГц. Излучаемый свет имеет длину волны 850 нм (ближний инфракрасный диапазон) и невидим для человеческого глаза. При идеальных условиях точность камеры – до 3 мм. Эта точность будет снижаться по мере удаления от камеры и ухудшения условий освещения.

После попадания манипулятора в область захвата 3D-камера считывает данные и передает их на промышленный контроллер. Программное обеспечение для обработки изображений использует полученную информацию о форме вымени и сосков, определяет, что объект действительно является соском, направляет манипулятор к месту расположения соска.

Визуальная система настроена на работу на близком расстоянии, поэтому камера должна быть достаточно близко к вымени, когда начинается процесс обнаружения. Для того чтобы система знала, где предварительно расположить камеру, первоначально система должна быть вручную обучена для каждой коровы, которую она будет доить. Во время процесса обучения манипулятор управляется вручную с помощью джойстика, доильные стаканы подключаются по одному за раз, система обучается и записывает все данные в базу по каждому конкретному животному. Положения сосков сохраняются как предустановленные для последующего полностью автоматического доения.

### Заключение

Возможности обработки полученных XYZ-данных на сегодняшний день достаточно ограничены. Большая часть анализа должна производиться после преобразования данных в изображение, однако это может привести к заминкам при позиционировании доильного оборудования, что, в свою очередь, приведет к нарушению регламента доения. При разработке роботизированных систем доения необходимо уделить особое внимание нахождению и распознаванию сосков, поскольку без данной опции осуществить процесс доения будет невозможно.

### Список использованных источников

1. Хуршудов, А. А. Построение трехмерных карт признаков на основе видеофрагментов методом оптического потока / А. А. Хуршудов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2015. – № 2–3(217–222). – С. 115–124. – DOI: 10.5862/JCSTCS.217-222.10. – EDN TZGOWX.
2. Юрочка, С. С. Разработка методов определения биометрических и температурных параметров вымени лактирующих животных на основе оптических технологий : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Юрочка Сергей Сергеевич ; ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ». – М., 2022. – 24 с.

**Е. Л. Жилич, С. А. Цалко, Ю. Н. Рогальская**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: npc\_mol@mail.ru*

## **ОБЗОР И АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ПОДОДВИГАТЕЛЕЙ И ПОДТАЛКИВАТЕЛЕЙ КОРМОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА ФЕРМАХ И КОМПЛЕКСАХ КРС**

*Аннотация.* В статье приведен обзор и анализ конструкций, применяемых пододвигателей и подталкивателей кормов на фермах и комплексах.

*Ключевые слова:* корма, кормовой стол, кормовой проход, подталкиватель кормов, пододвигатель кормосмеси, самоходный пододвигатель, роботизированный пододвигатель, шнековый рабочий орган, щеточный рабочий орган, роторный рабочий орган, скреперный пододвигатель.

**E. L. Zhilich, S. A. Tsalko, Yu. N. Rogalskay**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: npc\_mol@mail.ru*

## **REVIEW AND ANALYSIS OF DESIGNS OF APPLIED UNDERDRIVERS AND FEED PUSHERS ON CATTLE FARMS AND COMPLEXES**

*Abstract.* The article provides an overview and analysis of the designs of used feed thrusters and feed pushers on farms and complexes.

*Keywords:* feed, feed table, feed passage, feed pusher, feed mixer sub-motor, self-propelled sub-motor, robotic sub-motor, screw working body, brush working body, rotary working body, scraper sub-motor.

### **Введение**

Корм на кормовом столе для лактирующих коров должен быть доступен в течение суток постоянно, при этом 50 % от суточной потребности корма должно быть доступно после того, как корова приходит с дойки [1]. Отмечено, что высокопроизводительные коровы принимают корм до 12 раз в сутки и проводят за кормовым столом от 4 до 5 ч [2].

Кормовой стол должен располагаться так, чтобы коровам было удобно поедать корм и при этом была возможность рационально производить их раздачу.

Постоянное наличие корма в зоне доступа животных на кормовом столе повышает его потребление и сокращает количество недоеденных остатков.

В процессе подталкивания у коров стимулируется рефлекс потребления корма – корова чаще подходит к кормовому столу и потребляет больше корма, что в конечном итоге влияет на ее продуктивность.

Регулярное подталкивание и перемешивание (рыхление) кормов на кормовом столе повышает их потребление более чем на 3,5 %, при этом практически на 100 % снижается количество отходов, вследствие чего происходит увеличение продуктивности животных [3].

Залеживание корма на кормовом столе приводит к повторной его ферментации. В результате этого процесса образуются гниющие массы, которые негативно влияют на здоровье животных и качество кормов. Ферментация ускоряет процесс разложения питательных веществ и приводит к потере их качества. Кроме того, гниение корма становится источником патогенных микроорганизмов, которые могут вызывать различные заболевания животных. Особенно это актуально летом.

С учетом вышеизложенного и с целью снижения расхода кормов и трудоемкости процесса подталкивания кормов с кормового прохода в зону досягаемости коров, а также сохранения оптимального качественного состава корма, а именно предотвращения прения и залеживания, ряд производителей выпускают навесные, самоходные, автоматизированные (роботизированные) подталкиватели кормов.

### Основная часть

На сегодняшний день существует ряд вариантов по обслуживанию кормового стола, а именно:

- скреперные установки для подталкивания кормов;
- самоходные подталкиватели кормов;
- навесные на трактор подталкиватели кормов;
- автоматизированные (роботизированные) подталкиватели кормов.

В качестве одного из наиболее простых в исполнении можно отметить стационарный двусторонний скреперный пододвигатель, который выпускает компания Dairymaster (рисунок 1) [4].

Пододвигатель представляет собой скреперное устройство, поддвигающее кормосмесь одновременно с двух сторон. Скрепер закреплен на рейке, установленной посреди кормового проезда. Пододвигатель кормосмеси двигается прямолинейно вперед, при движении назад скрепер складывается и возвращается в исходное положение. Пододвигание происходит автоматически с пульта управления.

Преимущества данного типа пододвигателя заключаются в том, что каждые два часа происходит автоматическое подталкивание кормосмеси в зону досягаемости животным. Недостатки – при применении на крупных предприятиях необходимо использовать несколько устройств с монтажом в каждом коровнике, а также некачественное пододвигание кормов за счет прямолинейного движения рабочих органов, в результате чего происходит стягивание кормосмеси.

В качестве наиболее прогрессивного представителя можно отметить самоходный пододвигатель BOBMAN PRO со шнековым рабочим органом, он выпускается компанией Jydeland Maskinfabrik A/S (рисунок 2) [5]. Пододвигатель представляет собой специальное самоходное энергетическое средство, к которому фронтально присоединен шнековый рабочий орган, работающий в горизонтальной плоскости параллельно с кормовым столом, вращающийся вокруг своей оси.

Преимущества данного пододвигателя – это компактность, возможность одновременного перемешивания кормосмеси, при замене рабочего органа на скрепер есть возможность использовать машину для других технологических процессов. Недостатки – сложность конструкции, движение колес энергетического средства по кормовому столу, что способствует загрязнению корма, налипания кормов на шнек, нет вкусового стимулирования животных для повышения поедаемости пододвинутых кормов, а также высокая стоимость.



Рисунок 1 – Стационарный пододвигатель со скреперным рабочим органом FEEDMAX (Dairymaster)



Рисунок 2 – Самоходный пододвигатель со шнековым рабочим органом BOBMAN PRO



Рисунок 3 – Самоходный пододвигатель со щеточным рабочим органом MOTOBRUSH

Схожим по функциональным возможностям является самоходный пододвигатель со щеточным рабочим органом, который производится компанией Storti S.p.A (рисунок 3) [6]. Данный пододвигатель представляет собой самоходное транспортное средство, где рабочий орган состоит из набора горизонтальных щеток, управляемых кривошипным механизмом.

Преимуществом является мобильность пододвигателя, возможность использования для подметания других территорий. К недостаткам можно отнести то, что при интенсивной работе щеток в воздух поднимается пыль, а также сложность конструкции и отсутствие вкусового стимулирования животных для повышения поедаемости пододвинутых кормов.

Следующим представителем является самоходный пододвигатель с роторным рабочим органом, который производится компанией Tuchel (рисунок 4) [7]. Пододвигатель представляет собой самоходное энергетическое транспортное средство с навесным роторным рабочим органом, выполненным в виде колеса, на котором по окружности закреплены щетки, работающие в горизонтальной плоскости.

Преимуществом является мобильность пододвигателя, возможность использования для подметания других территорий, имеет сменные рабочие органы. Недостатки – это сложность конструкции, движение колес энергетического средства по кормовому столу, что приводит к загрязнению корма, при интенсивной работе ротора в воздух поднимается пыль, нет вкусового стимулирования животных для повышения поедаемости пододвинутых кормов.

В качестве перспективного аналога можно выделить самоходный подталкиватель кормов EL8850 (рисунок 5) [8].





Рисунок 4 – Самоходный пододвигатель с роторным рабочим органом марки Трас MINI 3



Рисунок 5 – Самоходный подталкиватель и смеситель кормов EL8850 компании «Верагодна»

Подталкиватель и смеситель кормов EL8850 легко толкает, перемешивает, аэрирует и сметает корм для коров. Имеет четырехтактный двигатель мощностью 11 л. с. (США), прост и эргономичен в управлении. Преимущество использования таких устройств заключается в повышении уровня механизации, снижении трудовых затрат, а также в снижении расхода кормов.



Самоходный подталкиватель-ворошитель корма БЛ-130ПВ (рисунок 6) [9] – многофункциональная машина для выполнения повседневных трудоемких работ внутри и снаружи коровника. Подталкивает корм к кормовому столу, перемешивает, делает массу однородной, препятствует залеживанию. Для БЛ-130 ПВ существует широкий ассортимент навесного оборудования, которое позволяет с легкостью расширить его возможности.

К достоинствам можно отнести его компактность и маневренность, он легко адаптируется к любому виду покрытия, в отличие от роботизированных аналогов, которым нужна практически идеальная поверхность, сокращает время подачи корма и может выполнять 9–12 операций за день по всему комплексу, расход топлива составляет 2 л (ориентировочно).

Самоходные подталкиватели кормов PanMix (рисунок 7) [10] предназначены для перемещения и подталкивания кормов на всей площади кормовой площадки.



Рисунок 6 – Подталкиватель корма БЛ-130ПВ



Рисунок 7 – Самоходный подталкиватель кормов PanMix

Многофункциональная трехколесная машина PanMix предназначена для универсального применения на ферме или животноводческом комплексе, также используется в коммунальном хозяйстве.

PanMix может поставляться с различным навесным оборудованием, которое легко монтируется благодаря быстросъемному подсоединению к раме машины и гидравлической системе. Это позволяет быстро, всего за две минуты, установить и поменять навесное оборудование в зависимости от задачи, что экономит время и упрощает процесс работы.

PanMix обеспечивает широкий спектр функций и возможностей, включая подталкивание кормов, а также различные работы на ферме, уборку дорожек, парков, тротуаров.

Также на рынке имеются навесные на трактор пододвигатели с одним или двумя роторными рабочими органами, производимые компанией HOLARAS Hoorman Machines bv (рисунок 8) [11] и компанией Browns Agricultural (рисунок 9) [12]. Пододвигатель представляет собой раму, на которой закреплены покрышки от колеса с возможностью вращения в горизонтальной плоскости вокруг своей оси.

Преимуществом является мобильность, простота конструкции, возможность использования как при помощи трехточечной навески, так и при помощи вил погрузчика. Недостатки – в силу геометрии протектора колеса невозможно полное пододвигание корма в зону досягаемости животного, а также нет возможности одновременно пододвигать кормосмеси с двух сторон.

В целом применение в качестве пододвигающего рабочего органа шин не целесообразно, так как ширина шины и ее масса вызывают относительно высокие тяговые сопротивления, а следовательно, и высокие удельные энергозатраты.



Рисунок 8 – Навесной пододвигатель с одним роторным рабочим органом HOLARAS Hoorman Machines bv



Навесные на трактор подталкиватели кормов в основном соответствуют требованиям по обслуживанию кормового стола, однако ввиду слабой маневренности не полностью обеспечивают качество выполнения данной операции. Пример навесного подталкивателя кормов для трактора МТЗ компании «Юликом Плюс» представлен на рисунке 10 [13].

Также на сегодняшний день имеется полунавесной подталкиватель-разрыхлитель кормов для мотоблока (рисунок 11), разработанный РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства».



Рисунок 9 – Навесной подталкиватель с двумя роторными рабочими органами Browns Agricultural

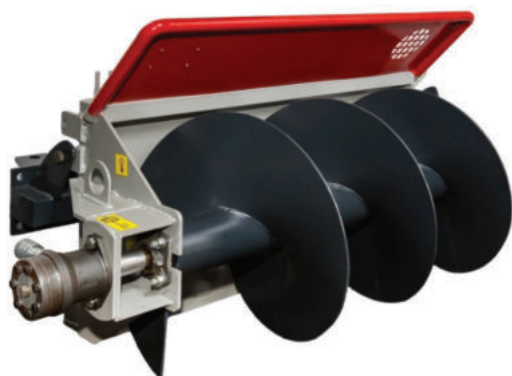


Рисунок 10 – Навесной подталкиватель кормов компании «Юликом Плюс»



Рисунок 11 – Полунавесной подталкиватель-разрыхлитель кормов для мотоблока РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»



Рисунок 12 – Прицепной пододвигатель со скреперным рабочим органом марки Fourragenet

В отличие от предыдущего подталкивателя кормов данный вариант менее металлоемок и обладает большей маневренностью внутри помещения. Также помимо подталкивания кормов он осуществляет их интенсивное разрыхление. В качестве недостатка необходимо отметить большую массу мотоблока, что затрудняет работу персонала в течение продолжительного времени.

Прицепной пододвигатель со скреперным рабочим органом, производимый компанией RABAUD (рисунок 12), представляет собой скрепер с резиновой вставкой, соприкасающейся с полом, отклоненной от линии движения на 35 градусов [14].

Преимуществом является мобильность, простота конструкции. Недостатки – невозможность использовать без специального ковша с вилами, движение колес энергетического средства по кормовому столу, что способствует загрязнению корма, некачественное пододвигание кормов за счет прямолинейного движения рабочих органов, в результате чего происходит стягивание кормосмеси, нет вкусового стимулирования животных для повышения поедаемости пододвинутых кормов.

Скреперные и роботизированные машины выполняют лишь одну операцию подталкивания и устанавливаются в каждом коровнике на животноводческой ферме, что приводит к удорожанию этой технологической операции. При этом стоит учесть, что элементы роботизации производятся и поставляются из стран дальнего зарубежья.

Автоматизированные (роботизированные) подталкиватели кормов значительно экономят трудовые ресурсы, однако в ряде случаев не способны работать автономно, а только под управлением системы менеджмента стада, что делает невозможным их применение на ряде молочно-товарных ферм и комплексов республики. Также данные подталкиватели кормов нуждаются в периодическом заряде батареи. В среднем одного заряда (в зависимости от производителя) хватает на 10–16 ч работы.

Наиболее прогрессивными на сегодняшний день являются роботизированные пододвигатели кормов, выпускаемые такими производителями как Valmetal, Wasserbauer GmbH Fütterungssysteme, DeLaval, Rovibec Agrisolutions, Lely, АО «Слободской машиностроительный завод» и др. На рисунке 13 представлен роботизированный пододвигатель с роторным рабочим органом Juno 100 [15].



Рисунок 13 – Роботизированный пододвигатель с роторным рабочим органом Juno 100



Рисунок 14 – Робот-подталкиватель кормов Nimbo Sveaverken



Рисунок 15 – Роботизированный пододвигатель со шнековым рабочим органом марки Butler Gold

Преимущество данного типа пододвигателей в том, что каждые два часа происходит автоматическое подталкивание кормосмеси в зону досягаемости животными. Недостатком является сложность конструкции, невозможность использовать на крупных предприятиях, в связи с тем, что, требуются переезды между коровниками, нет вкусового стимулирования животных для повышения поедаемости пододвинутых кормов.

Одним из наиболее прогрессивных представителей данного типа подталкивателей является робот-подталкиватель кормов Nimbo Sveaverken (рисунок 14) [16].

Он обладает большой шириной захвата и достаточной маневренностью, имеет функцию удаленного управления, однако затруднено перемещение между коровниками.

Пример роботизированного пододвигателя кормов со шнековым рабочим органом марки Butler Gold представлен на рисунке 15 [17]. Пододвигатель представляет собой корпус, внутри которого в горизонтальной плоскости вокруг своей оси вращается шнек, соприкасаясь с кормовым столом.

Преимущества заключаются в том, что каждые два часа происходит автоматическое подталкивание кормосмеси в зону досягаемости животными, а также возможность использовать в коровниках с узкими кормовыми проездами. Недостатками, как и в предыдущем пододвигателе, являются сложность конструкции, невозможность использовать на крупных предприятиях, в связи с тем, что требуются переезды между коровниками. Кроме того, твердые концентрированные корма посыпаются сверху на пододвинутую кормосмесь, в результате чего поедается только этот



вид корма, а оставшаяся кормосмесь остается непривлекательной по вкусовым критериям для животных. Следовательно, концентрированные корма используются недостаточно эффективно.

Робот-подталкиватель кормов COW-BOY (рисунок 16) [18] – независимая мобильная установка.

Робот-подталкиватель кормов COW-BOY может быть адаптирован к любому коровнику, работать сразу в нескольких коровниках и ехать между этими коровниками по бетонному полу на открытом воздухе (если нет льда и снега). Робот не может заблудиться: направляющий провод 3 мм вмонтирован в пол. COW-BOY не сбивается с запрограммированного пути, так как идет вдоль постоянно протянутого провода, заложенного в бетон (нет промежутков, как в случае с датчиками).

Нет ограничений по максимальной ширине полосы корма, так как можно поместить направляющий провод дальше от кормового забора. Если положить провод на 1,50 м, корм может доходить до 1,7 или 1,8 м от кормового стола.

COW-BOY можно настроить на работу по разным циклам дней недели (7 разных циклов). Поэтому робот может работать в разное время дня и делать совершенно разные циклы в зависимости от дня недели. Например, это может быть полезно в выходные, когда на ферме хотят кормить коров намного больше, чтобы снизить рабочую загруженность.

К преимуществам относится и безопасное перемещение: бесконтактная система безопасности «На расстоянии». Робот-подталкиватель останавливается на расстоянии 50 см от препятствия (благодаря системе эхолотаторов/сонаров). Если, например, человек находится на его пути, то робот не заденет его, остановится раньше. Нет ограничений по максимальной высоте корма, так как робот толкает от основания кормовой пачки.

Полностью автоматизированный кормовой толкатель FRone от GEA представлен на рисунке 17 [19].



Рисунок 16 – Робот-подталкиватель кормов COW-BOY



Рисунок 17 – Автоматизированный кормовой толкатель FRone



Рисунок 18 – Подталкиватель кормов ПК-1



Рисунок 19 – Автоматический пододвигатель кормов RANGER

Полностью автоматизированный кормовой толкатель FRone перемещается к кормушке в заданное время и в соответствии с заданными маршрутами. Это гарантирует, что коровы будут иметь доступ к свежему высококачественному корму круглосуточно – даже животные с более низким рейтингом во второй группе кормления.

Подталкиватель кормов ПК-1 производства АО «Слободской машиностроительный завод» (рисунок 18) [20] толкает корма в сторону животных по всей длине кормового стола несколько раз в сутки. Использование автоматического подталкивателя кормов (пододвигателя, подравнивателя) позволяет снизить затраты на ручной труд и повысить продуктивность вследствие полного потребления рациона.

Автоматический подталкиватель кормов ПК-1 адаптируется к любому коровнику. В кормовом проходе он ориентируется при помощи ультразвуковых и индуктивных датчиков. Отличительная особенность пододвигателя кормов ПК-1 от зарубежных моделей – это колеса большего диаметра, которые позволяют преодолевать ему все неровности и уклоны покрытия кормового прохода.

Автоматический пододвигатель кормов RANGER от Rovibec Agrisolutions представлен на рисунке 19 [21].

Робот легко программируется, надежен и несложный в обслуживании. Выполнив свою работу, он вернется на зарядную станцию до следующего выезда. Скот будет иметь доступ к свежей пище в течение всего дня, день за днем, также увеличится производство молока и снизятся затраты на корма. Кормораздатчик RANGER – самый эффективный, быстрый и надежный на рынке. Самоуправляемый робот-толкатель корма заменяет рацион несколько раз в день. Простой, эф-

фективный и надежный благодаря вмонтированной в землю магнитной ленте. Полное потребление рациона увеличивает количество молока, по данным Journal of Animal Science, а также автоматически адаптирует расстояние проталкивания корма к бортику, без программирования и без риска потери контроля. Моторизованная вращающаяся юбка повышает эффективность проталкивания, а также у кормораздатчика низкое техническое обслуживание.

В Швеции компания DeLaval представила OptiDuo™ – новый автоматизированный подталкиватель для корма (рисунок 20) [22].

Система OptiDuo™ делает в два раза больше для улучшения производительности: смешивает корм, что делает его более привлекательным для коров, а затем перемещает его без спрессовывания. Значит, коровы потребляют больше корма и производят больше молока.

Lely Vector (рисунок 21) [23] – это следующий шаг в развитии автоматического кормления, приведший к созданию полностью продуманного и надежного робота-кормораздатчика.

Главное преимущество этого робота – круглосуточное кормление без трудовых затрат.

Роботизированный пододвигатель кормов Stallboy feed (рисунок 22) [24] – это инновационное решение, обеспечивающее круглосуточную подачу свежего корма в кормушки.

Благодаря более коротким перерывам в кормлении увеличивается потребление кормов и, следовательно, увеличивается объем молока.



Рисунок 20 – Автоматический подталкиватель кормов DeLaval OptiDuo™



Рисунок 21 – Робот-кормораздатчик Lely Vector





Рисунок 22 – Роботизированный пододвигатель кормов Stallboy feed

### Заключение

В результате анализа конструкций известных пододвигателей кормов установлено, что в целом мобильные пододвигатели кормов характеризуются следующими преимуществами:

- относительно небольшая стоимость пододвигателя;
- возможность агрегатирования практически с любым энергетическим транспортным средством, имеющимся на предприятии;
- возможность использовать энергетическое транспортное средство на других операциях;
- простота конструкции.

Роботизированные пододвигатели кормов имеют относительно высокую стоимость оборудования, сложную конструкцию, при этом нельзя использовать одну машину для обслуживания большого поголовья из-за невозможности переезда между коровниками.

На сегодняшний день на рынке Республики Беларусь имеется ряд отечественных и зарубежных подталкивателей кормов, которые не в полной мере обеспечивают выполнение технологического процесса. Немаловажным фактором является их высокая стоимость и отсутствие сменных адаптеров.

Разработка собственных самоходных универсальных машин, осуществляющих одновременно ряд операций, таких как подталкивание и рыхление кормов с одновременным вводом обогачительных добавок, способствующих улучшению их качественных и вкусовых показателей, возможность установки и смены ряда адаптеров для выполнения иных операций по обслуживанию молочно-товарных ферм и комплексов, является актуальной.

### Список использованных источников

1. Разумовский, Н. Менеджмент кормового стола / Н. Разумовский // Животноводство России. – 2019. – № 5. – С. 55–58.
2. Технологические рекомендации по организации производства молока на новых и реконструируемых молочно-товарных фермах / Н. А. Попков, В. Н. Тимошенко, А. Ф. Трофимов [и др.] // НАН Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по животноводству. – Жодино, 2018. – 138 с.
3. Рабочие алгоритмы ООО «РОДАНАГРОПОЛ» // Белорусское сельское хозяйство. – 2022. – № 11 (247). – С. 18–22.
4. Пододвигатель кормов на рейке FEEDMAX. – URL: <https://www.agriexpo.ru/prod/dairymaster/product-171455-15340.html> (дата обращения: 19.11.2024).
5. Superficie de descanso de las vacas limpia y seca. – URL: <https://studylib.es/doc/7667414/bobman-s-lwd-3wd> (data of access: 19.11.2024).
6. Description Motobrush. – URL: <https://pdf.agriexpo.online/pdf/storti/dobermann-evo/170327-3103.html> (data of access: 19.11.2024).

7. Навесной пододвигатель кормов Trac Mini 2 series. – URL: <https://www.agriexpo.ru/prod/tuchel-maschinenbau/product-170472-10520.html> (дата обращения: 19.11.2024).
8. Подталкиватель кормов EL8850. – URL: <https://veragodna.by/product/podtalkivatel-kormov-el8850/> (дата обращения: 19.11.2024).
9. Самоходный подталкиватель-ворошитель корма БЛ-130ПВ. – URL: [https://www.bluming.ru/catalog/bl\\_130\\_bluming](https://www.bluming.ru/catalog/bl_130_bluming) (дата обращения: 19.11.2024).
10. Машина самоходная PanMix с многофункциональным навесным оборудованием [сайт]. – URL: <https://ulicomplus.by/katalog/tehnika-dlya-krs/samohodnyie-mashinyi/mashina-dlya-podtalkivaniya-kormov-yulikom-plyus/mashina-samohodnaya-panmix/> (дата обращения: 19.11.2024).
11. Автоматический пододвигатель кормов Octo series. – URL: <https://www.agriexpo.ru/prod/holaras-hoopman-machines-bv/product-169280-27179.html> (дата обращения: 19.11.2024).
12. Browns Agricultural Machinery. – URL: [http://temevalleytractors.co.uk/new\\_machinery\\_supplier/531eff6a098db/Browns-Agricultural-Machinery](http://temevalleytractors.co.uk/new_machinery_supplier/531eff6a098db/Browns-Agricultural-Machinery) (data of access: 19.11.2024).
13. Подталкиватель кормов навесной на трактор (стандарт). – URL: [https://ulicomplus.by/katalog/tehnika-dlya-krs/navesnoe-oborudovanie-na-traktora/podtalkivatel-kormov-navesnoj-na-traktor/standart/?utm\\_source](https://ulicomplus.by/katalog/tehnika-dlya-krs/navesnoe-oborudovanie-na-traktora/podtalkivatel-kormov-navesnoj-na-traktor/standart/?utm_source) (дата обращения: 19.11.2024).
14. RABAUD – каталог техники. – URL: <https://exkavator.ru/excapedia/producers/rabaud> (дата обращения: 19.11.2024).
15. Lely Juno повысить потребление корма еще никогда не было так просто. – URL: <https://www.lely.com/ru/solutions/feeding/juno/> (дата обращения: 19.11.2024).
16. Sveaverken Global's Post. – URL: [https://www.linkedin.com/posts/sveaverken\\_sveaverken-robopusher-nimbo-automatically-activity-7079376336279998464-nD56](https://www.linkedin.com/posts/sveaverken_sveaverken-robopusher-nimbo-automatically-activity-7079376336279998464-nD56) (data of access: 19.11.2024).
17. Пододвигатель «BUTLER GOLD» помогает повышать удои и здоровье животных. – URL: <https://wasserbauer.at/ru/produkty/butler-gold> (дата обращения: 19.11.2024).
18. Робот-подталкиватель кормов COW-BOY. – URL: <https://www.sacmilking.ru/collection/robot-pododvigatel-korma/product/robot-podtalkivatel-kormov-cow-boy> (дата обращения: 19.11.2024).
19. GEA Frone-Автоматический пододвигатель кормов. – URL: [https://westagro.by/catalog/kormlenie\\_zhivotnykh/gea\\_frone\\_avtomaticheskij\\_pododvigatel\\_kormov/](https://westagro.by/catalog/kormlenie_zhivotnykh/gea_frone_avtomaticheskij_pododvigatel_kormov/) (дата обращения: 19.11.2024).
20. Подталкиватель кормов ПК-1. – URL: [https://smsz.ru/products/g\\_podtalkivatel\\_kormov/pk-1/](https://smsz.ru/products/g_podtalkivatel_kormov/pk-1/) (дата обращения: 19.11.2024).
21. Автоматический пододвигатель кормов RANGER. – URL: <https://www.agriexpo.ru/prod/rovibec-agrisolutions/product-172425-129658.html> (дата обращения: 19.11.2024).
22. DeLaval OptiDuo™ Robotic Feed Pusher. – URL: <https://www.delaval.com/en-gb/discover-our-farm-solutions/feeding/delaval-optiduo/> (data of access: 19.11.2024).
23. Робот-кормораздатчик Lely Vector. – URL: <https://viatekgroup.com/robot-kormorazdachik-lely-vector/> (дата обращения: 19.11.2024).
24. Роботизированный пододвигатель кормов STALLBOY FEED. – URL: <https://www.agriexpo.ru/prod/hetwin-automation-systems-gmbh/product-171829-8977.html> (дата обращения: 19.11.2024).



**В. В. Никончук, Д. В. Бернацкая, О. Л. Екельчик**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: npc\_mol@mail.ru*

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ПОДТАЛКИВАТЕЛЯ КОРМОВ ПОЛУНАВЕСНОГО ПКП-0,9**

*Аннотация.* Приведены результаты испытаний подталкивателя кормов полунавесного ПКП-0,9.

*Ключевые слова:* грубые корма, кормосмесь, кормовой стол, подталкиватель-разрыхлитель кормов, испытания.

**V. V. Nikonchuk, D. V. Bernatskaya, O. L. Ekelchik**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: npc\_mol@mail.ru*

## **TEST RESULTS OF THE SEMI-MOUNTED FEED PUSHER PKP-0,9**

*Abstract.* The test results of the semi-mounted feed pusher PKP-0,9 are presented.

*Keywords:* coarse feed, feed mixture, feed table, feed booster, tests.

### **Введение**

Внедрение ресурсосберегающих технологий в процессе интенсификации сельскохозяйственного производства является стратегическим направлением, обеспечивающим прирост объемов производства сельскохозяйственной продукции. Развитие животноводческой отрасли до 2025 г. предусматривает увеличение валового производства молока до 12 млн т, продукции выращивания крупного рогатого скота – до 970 тыс. т.

Повышение производства молока и говядины невозможно без полного обеспечения скота кормами, которые являются в структуре себестоимости основополагающими и составляют в среднем 50–70 % от общих затрат [1].

Наличие кормов, их качество, грамотная организация процесса кормления и рациональное использование кормов являются основными условиями, определяющими эффективность производства молока и говядины [2].

С целью механизации ряда процессов на фермах и комплексах по содержанию крупного рогатого скота, а также для снижения трудозатрат, разработан подталкиватель-разрыхлитель кормов полунавесной ПКП-0,9, который предназначен для перемещения грубых кормов и кормосмесей на кормовой стол при одновременном их перемешивании.

### **Основная часть**

На сегодняшний день остается актуальной задача по снижению трудовых затрат при обслуживании крупного рогатого скота на молочно-товарных фермах и комплексах, а также повышение уровня механизации трудоемких процессов.

Для решения поставленной задачи сотрудниками РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработан подталкиватель-разрыхлитель кормов полунавесной ПКП-0,9, который предназначен для использования на фермах по содержанию крупного рогатого скота для подталкивания, ворошения и перемешивания большого объема корма, находящегося на кормовом столе.

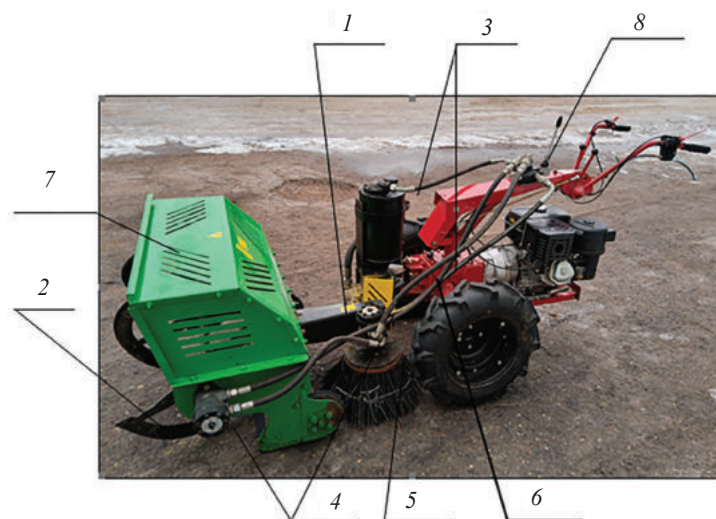


Рисунок 1 – Подталкиватель-разрыхлитель кормов полунавесной ПКП-0,9:  
1 – рама; 2 – шнек; 3 – гидросистема; 4 – привод; 5 – щетка; 6 – сцепка; 7 – ограждение; 8 – рукоятка управления

Подталкиватель-разрыхлитель кормов полунавесной ПКП-0,9 предназначен для перемещения грубых кормов (сена, соломы, силоса, сенажа и кормосмесей) с целью их разрыхления и подталкивания с прохода на кормовой стол. Применение данного подталкивателя препятствует слеживанию кормосмеси.

По отдельной заявке заказчика подталкиватель может поставляться вместе с мотоблоком соответствующей мощности и необходимой комплектации.

На рисунке 1 представлен подталкиватель-разрыхлитель кормов полунавесной ПКП-0,9.

Рама 1 представляет собой сварную конструкцию, на которую монтируются основные узлы и детали подталкивателя. Агрегатирование подталкивателя с мотоблоком осуществляется при помощи сцепки 6. В нижней части рамы подталкивателя установлены два опорных колеса для перекачивания подталкивателя в процессе работы.

Шнек 2 захватывает корм с кормового стола, перемешивает его и подает обратно животным. Шнек крепится к раме и сверху закрыт защитным ограждением 7. В нижней части ограждения установлена пластина, которая выполняет роль чистика и не дает оставаться мелким остаткам корма не подобранными с кормового стола.

Гидромоторы привода 4 приводят во вращение шнек подталкивателя и щетку 5. Гидросистема 3 предназначена для обеспечения работы гидромоторов привода шнека и щетки. В состав гидросистемы 3 входит масляный бак объемом 10 л и шестеренчатый насос для создания требуемого давления (привод насоса осуществляется от ВОМ мотоблока).

Технологический процесс работы подталкивателя осуществляется следующим образом (рисунок 2).



Рисунок 2 – Подталкиватель кормов в работе



Рисунок 3 – Кормовой стол до прохода подталкивателя

Рисунок 4 – Кормовой стол после прохода подталкивателя

Подталкиватель в агрегате с мотоблоком при движении по кормовому проходу через ВОМ посредством гидромотора приводит во вращательное движение шнек. Лопастей шнека захватывают корм с кормового прохода (рисунок 3), перемешивают его и обеспечивают подачу его обратно животным (рисунок 4).

Управление работой подталкивателя (включение/выключение) шнека осуществляется с помощью рукоятки управления и органов управления мотоблоком.

При движении вдоль кормового стола по кормовому проходу кормовая масса захватывается парой спиралей двухзаходных, перемешивается и подталкивается в зону досягаемости животного. При этом щетка радиальная обеспечивает полное снятие остатков корма с кормового стола. Кожух защитный предотвращает выбрасывание корма из рабочей зоны пары спиралей двухзаходных.

Техническая характеристика разработанного подталкивателя-разрыхлителя кормов полунавесного ПКП-0,9 представлена в таблице.

**Техническая характеристика подталкивателя-разрыхлителя кормов полунавесного ПКП-0,9**

Наименование показателя	Значение
Марка	ПКП-0,9
Тип	Полунавесной
Габаритные размеры, мм, не более:	
длина	1 250
ширина	1 150
высота	750
Рабочая скорость, км/ч, не более	4
Масса, кг, не более	150
Диаметр шнека, мм	600 ± 50
Ширина захвата, мм, не более	900
Привод	От автономной гидросистемы
Рабочее давление в гидросистеме, МПа, не более	16,0
Срок службы, лет, не менее	8

В ходе испытаний подталкиватель агрегатировался с мотоблоком «Беларус 09Н-01», который имеет следующие характеристики:

- масса эксплуатационная, кг: 175;
- типоразмер шин колес: 6,00×12;
- давление в шинах колес, МПа: 0,1.

Характеристика подталкивателя:

- масса, кг: 124;
- типоразмер опорного колеса: 6х6.50-8.

Погодные условия во время выполнения инструментальной оценки (30.01.2024):

- температура воздуха, °С: 2;
- относительная влажность воздуха, %: 86;
- атмосферное давление, гПа: 998;
- скорость ветра, м/с: 0,5.

В результате оценки функциональных показателей было установлено, что подталкиватель в агрегате с мотоблоком «Беларус 09Н-01» обеспечивает выполнение технологического процесса перемещения кормосмеси, не съеденной животными, ближе к кормовому столу. Коэффициент надежности технологического процесса составил 1,00. Полнота перемещения кормосмеси составила 98,6 %. Ширина и высота перемещенной кормосмеси после прохода подталкивателя составила 41,7 и 12,5 см соответственно.

За период испытаний на надежность в СПК «Прогресс-Вертелишки» Гродненского района Гродненской области наработка подталкивателя с 26.01.2024 по 11.03.2024 составила 53 ч основного времени.

Средняя наработка на сложный отказ (отказы II и III группы сложности) составила 53 ч. Коэффициент готовности по оперативному времени составил 0,98, с учетом организационного времени – 0,96. Коэффициенты готовности техническими условиями не регламентированы.

Ежесменное оперативное время технического обслуживания составило 0,15 ч, удельная суммарная оперативная трудоемкость технических обслуживаний – 0,02 чел.-ч/ч.

Испытаниями определены фактические значения показателей подталкивателя корма полунавесного ПКП-0,9, предусмотренные рабочей программой-методикой испытаний, и установлено, что подталкиватель в агрегате с мотоблоком обеспечивает перемещение кормосмеси, не съеденной животными, ближе к кормовому столу и по показателям технической характеристики, полноте перемещения корма подталкиватель соответствует требованиям технических условий ТУ ВУ 100230575.525-2024 [3].

### **Заключение**

Использование разработанного подталкивателя-разрыхлителя кормов способствует снижению трудозатрат, а также снижению расхода кормов, при этом за счет одновременного ворошения кормовой массы происходит ее аэрация – корм не слеживается, благодаря чему и сохраняются качественные и вкусовые свойства корма.

### **Список использованных источников**

1. Ганущенко, О. Ф. Организация рационального кормления коров с использованием современных методов контроля полноценности их питания: рекомендации / О. Ф. Ганущенко, Д. Т. Соболев. – Витебск : ВГАВМ, 2016. – 80 с.
2. Морозов, Н. М. Эффективность применения робототехнических систем в животноводстве / Н. М. Морозов, И. И. Хусаинов // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2019. – № 1 (33). – С. 57–62.
3. Протокол приемочных испытаний, совмещенных с квалификационными, подталкивателя корма полунавесного ПКП-0,9 от 12 марта 2024 г. № 005/ПН-1-2024 / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2024. – 48 с.

**Е. Л. Жилич, Ю. Н. Рогальская, Д. В. Бернацкая, В. В. Никончук**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: npc\_mol@mail.ru*

**ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ,  
АНАЛИЗ И ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ  
МАКЕТНОГО ОБРАЗЦА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ  
И РАЗДАЧИ ПОЛНОРАЦИОННЫХ КОРМОСМЕСЕЙ**

*Аннотация.* В статье приведены результаты экспериментальных исследований макетного образца устройства для приготовления и раздачи полнорационных кормосмесей.

В ходе обработки данных определено влияние варьирования таких факторов, как частота вращения выгрузного шнека, количество форсунок, диаметр отверстия форсунки на параметр оптимизации. Получено уравнение регрессии, отражающее зависимость параметра оптимизации от варьируемых факторов.

*Ключевые слова:* макетный образец, опыт, кормосмесь, меласса, индикатор, эксперимент, проба, компонент, уравнение регрессии, матрица.

**E. L. Zhilich, Yu. N. Rogalskaya, D. V. Bernatskay, V. V. Nikonchuk**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: npc\_mol@mail.ru*

**CONDUCTING EXPERIMENTAL STUDIES, ANALYSIS AND PROCESSING  
OF EXPERIMENTAL DATA OF A PROTOTYPE OF A DEVICE FOR PREPARING  
AND DISTRIBUTING COMPLETE FEED MIXTURES**

*Abstract.* The results of experimental studies of a prototype device for preparing and distributing complete feed mixtures are presented.

During data processing, the influence of variation of such factors as the rotation frequency of the unloading auger, the number of nozzles, and the diameter of the nozzle hole on the optimization parameter was determined. A regression equation was obtained that reflects the dependence of the optimization parameter on the variable factors.

*Keywords:* prototype, experiment, feed mixture, molasses, indicator, experiment, sample, component.

**Введение**

Макетный образец устройства для приготовления и раздачи полнорационных кормосмесей для разработки интеллектуальных систем дозированной их выдачи при кормлении животных различных половозрастных групп должен обеспечивать в автоматическом режиме следующие функции:

- определение половозрастной группы животного (снятие данных с приемо-передающего устройства);
- приготовление полнорационной кормосмеси по установленному рецепту для заданной половозрастной группы животного;
- четкое дозирование исходных компонентов кормосмеси;
- дозированный ввод жидких компонентов в кормосмесь при ее выгрузке.

**Основная часть**

Макетный образец устройства для приготовления и раздачи полнорационных кормосмесей представлен на рисунке 1.



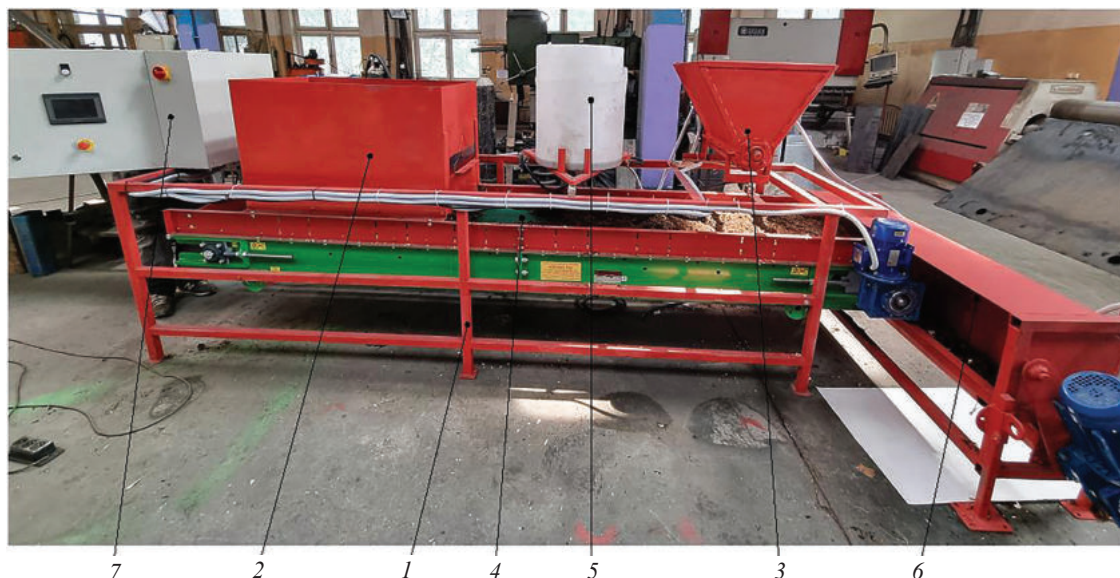


Рисунок 1 – Макетный образец устройства для приготовления и раздачи полнорационных кормосмесей:  
 1 – рама подающего транспортера; 2 – бункер силоса; 3 – бункер комбикорма; 4 – подающий транспортер;  
 5 – бункер для жидких компонентов; 6 – шнек выгрузной; 7 – шкаф управления

Экспериментальные исследования осуществлены в следующем порядке.

1. Произведена проверка физико-механических свойств используемых компонентов кормосмеси на соответствие зоотехническим требованиям (гранулометрический состав, отсутствие посторонних примесей).

2. Осуществлено использование пищевого красителя для выкраски индикаторов, с целью дальнейшей проверки качества процесса смешивания.

В качестве индикаторов использовалась зерновая группа и горох (рисунок 2).

Индикаторы использовались для каждого рецепта по отдельности в зависимости от половозрастной группы животного:

- зеленый – для молодняка старше года;
- синий – для коров;
- красный – для скота на откорме.

Индикаторы добавлялись непосредственно в комбикорм и равномерно перемешивались (рисунок 3).



*a*



*б*

Рисунок 2 – Индикаторы определения качества процесса смешивания: *a* – зерновая группа; *б* – горох

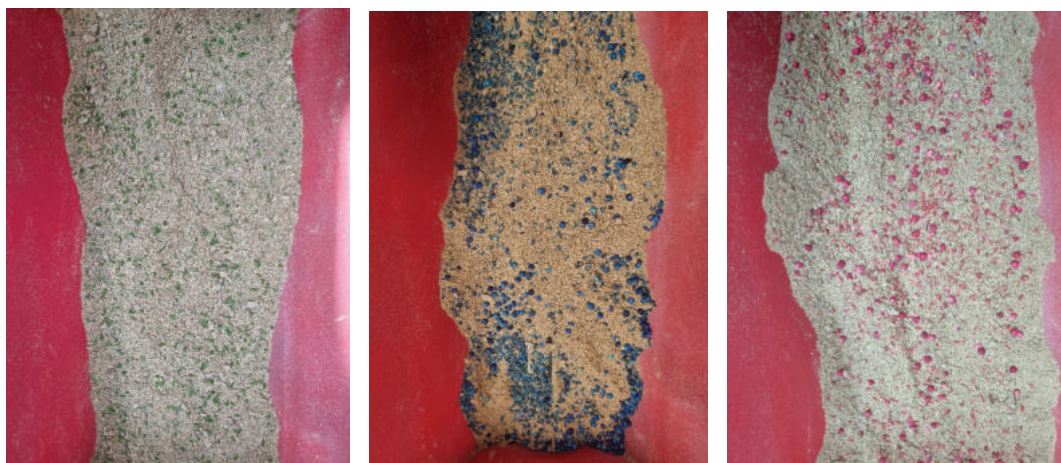


Рисунок 3 – Загрузка индикаторов в комбикорм



Рисунок 4 – Предварительная отработка технологического режима (силос-комбикорм)



Рисунок 5 – Предварительная отработка технологического режима (меласса)

3. Осуществлена загрузка исходных компонентов в бункер силоса, комбикорма и жидких компонентов совместно с соответствующим индикатором.

4. Произведена регулировка нормы дозирования исходных компонентов в зависимости от рецепта с учетом половозрастной группы животного (рисунки 4, 5).

5. Осуществлена регулировка варьируемых параметров технологических факторов макетной установки в соответствии с матрицей плана эксперимента (таблица 1).



Таблица 1 – Матрица плана эксперимента в натуральных показателях

Номер опыта	$\omega$ , частота вращения выгрузного шнека, об/мин	$n$ , количество форсунок, шт.	$d$ , диаметр отверстия форсунки, м
1	20	4	3
2	60	4	3
3	20	8	3
4	60	8	3
5	20	6	2
6	60	6	2
7	20	6	4
8	60	6	4
9	40	4	2
10	40	8	2
11	40	4	4
12	40	8	4
13	40	6	3
14	40	6	3
15	40	6	3

6. Проведены серии опытов. Опыт проводился однократно для каждого рецепта в зависимости от параметров макетной установки, всего 15 опытов на рецепт.

7. Пробы полученной кормосмеси для каждого опыта брали в количестве трех. Пробы брались вдоль линии раздачи (рисунок 6).



*a*



*б*



*в*

Рисунок 6 – Пробы полученной кормосмеси: *a* – рецепт № 1; *б* – рецепт № 2; *в* – рецепт № 3

8. Определяли физико-механические свойства полученной кормосмеси.

8.1. Степень однородности определяли расчетным путем по формуле (сравнивали для трех навесок):

$$K_{o1} = \left( 1 - \frac{\frac{\sum (x_u - x_{cp})^2}{n-1}}{x_{cp}} \right) \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где  $x_u$  – содержание индикаторного компонента в каждой пробе, %;  $x_{cp}$  – среднее количество индикаторного компонента в каждой пробе (для всех опытов по заданному рецепту), %;  $n$  – количество проб, шт.

8.2. Определяли структуру кормов, а именно комковатость, путем нахождения соотношения его фракций по формуле:

$$K_{o2} = \left( 1 - \frac{m_k}{m_n} \right) \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где  $m_k$  – масса комков в каждой пробе, кг;  $m_n$  – масса пробы, кг [1].

8.3. Определяли суммарный коэффициент.

Отмечено, что при большой доле использования мелассы наблюдалось значительное комкование.

9. По завершении процесса смешивания производили контроль влажности полученной кормосмеси на соответствие зоотехническим требованиям. Влажность полученной кормосмеси не должна превышать 50 %.

10. На основе полученных результатов произвели обработку полученных данных.

Далее представлена обработка данных для рецепта № 3, поскольку в данной рецептуре предусмотрен ввод наибольшего количества мелассы, ввиду чего наиболее часто возникает ряд негативных факторов, таких как комкование и неоднородность смешивания компонентов кормосмеси.

Кодирование факторов проводим по формуле:

$$x_i = \frac{\bar{x}_i - \bar{x}_{i0}}{\varepsilon_i}, \quad (3)$$

где  $\bar{x}_i$  – натуральное значение  $i$ -го фактора;  $\bar{x}_{i0}$  – натуральное значение фактора на нулевом уровне;  $\varepsilon_i$  – значение интервала варьирования фактора.

$$\varepsilon_i = \frac{\bar{x}_i^B - \bar{x}_i^H}{2}, \quad (4)$$

где  $\bar{x}_i^B$ ,  $\bar{x}_i^H$  – соответственно верхняя и нижняя граница изменения величины  $\bar{x}_i$ .

Кодирование факторов представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Кодирование факторов

Кодовое обозначение фактора	$\bar{x}_{i0}$	$\varepsilon_i$
$X_1$	40	20
$X_2$	6	2
$X_3$	3	1

За параметр оптимизации выбран суммарный коэффициент качества кормов с учетом однородности смешивания и комковатости  $K_o$ , являющийся основным показателем качества работы устройства.

Основной задачей данного эксперимента является получение статистической модели объекта в виде уравнения регрессии [2]. Многофакторное ортогонализованное уравнение регрессии второго порядка, отражающее зависимость параметра  $Y$  от  $k$  факторов  $X_i$ , имеет вид:

$$y = b_0 + \sum_i^k b_i x_i + \sum_{i>j}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=j}^k b_{ij} x_i^2, \quad (5)$$

где  $y$  – параметр оптимизации;  $b_0$  – свободный член, равный выходу при  $x_i = 0$ ;  $b_i$  – коэффициенты регрессии соответствующих факторов, указывающие влияние того или иного фактора на изучаемый объект;  $x_i, x_j$  – кодовое обозначение факторов;  $b_{ij}$  – коэффициент регрессии соответствующих факторов двойного взаимодействия.

В нашем случае факторное пространство описывается уравнением регрессии в виде полинома второй степени, который имеет следующий вид:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3. \quad (6)$$

В данном плане выбранные переменные варьируются на трех уровнях: +1, 0, –1 (таблица 4), что упрощает и удешевляет эксперимент по сравнению с центральными композиционными ротатабельными планами второго порядка, где предусматривается использование каждого фактора на пяти уровнях. Матрица плана Бокса – Бенкена представлена в таблице 5.

Обработка результатов экспериментальных данных многофакторного эксперимента позволяет получить точную математическую формулу зависимости результирующей функции от трех выбранных наиболее значимых факторов [3]. Построение поверхностей отклика 3D и их сечений позволит сделать подробный анализ результатов эксперимента и подготовить научные выводы по результатам экспериментальных исследований.

Данные, полученные в ходе экспериментальных исследований устройства в зависимости от варьируемых факторов, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Данные качества полученной кормосмеси в трех повторениях

Номер опыта	Критерий оптимизации				Дисперсия $S_j^2$
	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$\bar{y}_1$	
1	79,8	80,2	79,9	80,0	0,04333
2	80,7	81,3	80,9	81,0	0,09333
3	83,9	84,2	84,0	84,0	0,02333
4	88,2	87,9	88,3	88,1	0,04333
5	77,9	77,8	78,3	78,0	0,07000
6	80,0	80,1	79,9	80,0	0,01000
7	85,8	86,2	86,1	86,0	0,04333
8	81,0	80,9	81,0	81,0	0,00333
9	84,2	83,9	84,0	84,0	0,02333
10	87,1	87,2	86,7	87,0	0,07000
11	88,1	88,0	87,9	88,0	0,01000
12	90,0	90,0	90,0	90,0	0,00000
13	93,9	93,9	94,1	94,0	0,01333
14	94,0	94,1	94,0	94,0	0,00333
15	93,1	93,0	93,0	93,0	0,00333
$\Sigma$					0,45333

Однородность дисперсий определяли с помощью  $G$ -критерия Кохрена [4]:

$$G_s = \frac{\max S_j^2}{\sum_{j=1}^N S_j^2}, j = 1 \dots N, \quad (7)$$

где  $\max S_j^2$  – максимальная выборочная дисперсия в  $N$  выборках;  $S_j^2$  – выборочная дисперсия в  $j$ -м опыте;  $N$  – число опытов (число выборок);  $j$  – текущий номер опыта.

Выборочную дисперсию в каждой выборке определяли по формуле [4]:

$$S_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{ji} - \bar{y}_j)^2}{n-1}, \quad (8)$$

где  $n$  – число дублей каждого из  $N$  опытов;  $i$  – текущий номер дубля,  $1 \dots n$ ;  $y_{ji}$  – значение параметра оптимизации в  $j$ -м опыте и  $i$ -м дубле;  $\bar{y}_j$  – выборочное среднее в  $j$ -м опыте.



Среднее арифметическое значение параметра оптимизации для каждой строки определяем по формуле:

$$\bar{y}_j = \frac{\sum_i^n y_{ji}}{n}, j=1...N. \quad (9)$$

Например, для первой строки:

$$\bar{y}_j = \frac{80,7 + 81,3 + 80,9}{3} = 81,0.$$

$$S_1^2 = \frac{(80,7 - 81,0)^2 + (81,3 - 81,0)^2 + (80,9 - 81,0)^2}{3 - 1} = 0,04333.$$

Таким образом, по результатам обработки всех экспериментальных данных выяснили, что максимальная выборочная дисперсия получилась при обработке 2-го опыта (таблица 7) и составляет  $\max S_6^2 = 0,09333$ . Тогда, просуммировав дисперсии в каждом опыте, получим:

$$G_9 = \frac{0,09333}{0,45333} = 0,206.$$

Таким образом, проверка всех опытов на однородность по критерию Кохрена показала, что дисперсии всех опытов однородны, так как экспериментальное значение меньше табличного [5], [6]:

$$G_9 < G_{n-1, N, p} = G_{2, 15, 0, 95} = 0,206.$$

Значения коэффициентов уравнения второго порядка рассчитывали по формулам (10–13):

$$a_0 = \frac{1}{N_0} \sum_{n=1}^{n_0} y_{0n}, \quad (10)$$

$$b_i = A \sum_{n=1}^N X_{in} y_n, \quad (11)$$

$$b_{ij} = D \sum_{n=1}^{n_0} X_{in} x_{jn} y_n, \quad (12)$$

$$b_{ii} = B \sum X_{in}^2 y_n - C \sum_{i=1}^k \sum_{n=1}^N X_{in}^2 y_n - \frac{\sum_{n=1}^{n_0} y_{0n}}{N_0 p}, \quad (13)$$

где  $N_0$  – число опытов на нулевом уровне (в данном случае  $N_0 = 3$ );  $y_{0n}$  – значение параметра оптимизации трех опытов на нулевом уровне факторов (опыт 13, 14, 15);  $y_n$  – значение параметра оптимизации в  $n$ -й строке матрицы;  $X_i$  – кодированные уровни факторов;  $A, B, C, D, p$  – константы, зависящие от числа факторов ( $A = 1/8, B = 1/4, C = 1/16, D = 1/4, p = 2$ ).

Значимость коэффициентов уравнения регрессии определяли по следующей формуле:

$$\Delta b_i = \pm t S_{bi}, \quad (14)$$

где  $t$  – табличные значения критерия Стьюдента при заданном уровне доверия  $\alpha$  и степени свободы  $f = N(n - 1)$ . При  $\alpha = 0,05, t = 2,042$ .

$S_{bi}$  – ошибка определения коэффициентов  $b_i$ , определяемая по формуле:

$$S_{bi} = \sqrt{S_{bi}^2}, \quad (15)$$

где  $S_{bi}^2$  – дисперсия при определении коэффициентов (23–26).

$$S_{b0}^2 = \frac{1}{N_0} S_{y0}^2, \quad (16)$$

$$S_{bi}^2 = A S_{y0}^2, \quad (17)$$

$$S_{bij}^2 = DS_{y0}^2, \quad (18)$$

$$S_{bii}^2 = \left( B_1 + \frac{1}{p^2 N_0} \right) S_{y0}^2, \quad (19)$$

где  $S_{y0}^2$  – среднеквадратическая дисперсия трех опытов на нулевом уровне (дисперсия воспроизводимости эксперимента);  $B_1$  – константа, зависящая от числа факторов ( $B_1 = 13/48$ ).

$$S_{y0}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{n0} - \bar{y}_0)^2}{N_0 - 1}, \quad (20)$$

где  $\bar{y}_0$  – среднее значение параметра оптимизации трех опытов на нулевом уровне факторов.

Исходя из данных можно сделать вывод что коэффициенты  $b_1$  и  $b_{23}$  незначимы, поскольку доверительный интервал данных коэффициентов уравнения регрессии превышают их значения.

Таким образом, по результатам расчета было получено уравнение регрессии второго порядка:

$$y_{K_0} = 93,678 + 2,025x_2 + 1,996x_3 + 0,775x_1x_2 - 1,767x_1x_3 - 8,206x_1^2 - 2,197x_2^2 - 4,222x_3^2. \quad (21)$$

Следующим этапом работы является проверка математической модели на адекватность. Адекватность уравнения регрессии по плану Бокса – Бенкена проводили путем проверки дисперсий  $S_{\text{воспр}}^2$  и  $S_{\text{ад}}^2$  на однородность по критерию Фишера.

Экспериментальное значение критерия Фишера рассчитаем по формуле [6]:

$$F_3 = \frac{\max(S_{\text{воспр}}^2; S_{\text{ад}}^2)}{\min(S_{\text{воспр}}^2; S_{\text{ад}}^2)}, \quad (22)$$

где  $S_{\text{воспр}}^2$  – дисперсия воспроизводимости;  $S_{\text{ад}}^2$  – дисперсия адекватности.

Дисперсия воспроизводимости определяется по формуле:

$$S_{\text{воспр}}^2 = \frac{\sum S_j^2}{n}, \quad (23)$$

$$S_{\text{воспр}}^2 = \frac{0,45333}{3} = 0,1511.$$

Число степеней свободы дисперсии воспроизводимости определяется по формуле [5], [6]:

$$\left( \begin{aligned} f_{\text{воспр}} &= N(n - 1), \\ f_{\text{воспр}} &= 15(3 - 1) = 30. \end{aligned} \right. \quad (24)$$

Дисперсию адекватности определяют по формуле:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{n\phi}{N - B}, \quad (25)$$

где  $\phi$  – сумма квадратов разности между средним опытным и расчетным значениями параметра оптимизации;  $B$  – число значимых коэффициентов уравнения регрессии.

Суммы квадратов разности между средним опытным и расчетным значениями параметра оптимизации определяем для каждого опыта по формуле:

$$\phi = \sum_{n=1}^k (\bar{y}_j - y_j^p)^2. \quad (26)$$

Расчетное значение параметра  $y_j^p$  в каждом опыте рассчитывается, с учетом значимости коэффициентов регрессии, по формуле:

$$y_j^p = b_0 + b_1X_{1n} + b_2X_{2n} + b_3X_{3n} + b_{12}X_{1n}X_{3n} + b_{23}X_{1n}X_{3n} + b_{11}X_{1n}^2 + b_{22}X_{2n}^2 + b_{33}X_{3n}^2. \quad (27)$$

Результаты расчетов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Расчет выхода системы по уравнению регрессии для  $\bar{y}$

Номер опыта	$\bar{y}$	$y_j^p$	$(\bar{y}_j - y_j^p)^2$
1	81,0	79,92	0,002
2	84,0	81,37	0,163
3	88,1	84,28	0,061
4	78,0	88,27	0,019
5	80,0	77,86	0,020
6	86,0	80,15	0,023
7	81,0	86,12	0,008
8	84,0	81,28	0,098
9	87,0	84,22	0,035
10	88,0	87,09	0,008
11	90,0	88,11	0,012
12	94,0	90,28	0,078
13	94,0	93,69	0,077
14	93,0	93,69	0,118
15	92,1	93,69	0,131
$\Sigma(\bar{y}_{j0} - y_{j0}^p)^2$			0,852

Выбираем табличное значение критерия Фишера  $F_{f_{\text{числ}}; f_{\text{знач}}; p}$ , в котором на первом месте стоит число степеней свободы большей дисперсии, а на втором – число степеней свободы меньшей дисперсии, при доверительной вероятности  $p = 0,95$ .

$$F_{2;30;0,95} = 3,316.$$

Поскольку  $F_{2;30;0,95} = 3,316 > 2,818 = F_{\alpha}$ , то полученное уравнение регрессии адекватно.

Для получения функции отклика в зависимости от натуральных значений факторов декодируем уравнение регрессии.

Подставив в уравнение (27) натуральные значения факторов  $x_1, x_2, x_3$ , получим функцию отклика в натуральных показателях:

$$K_o = -13,132 + 6,841n + 30,262d + 0,019375wn + 1,745w - 0,07335wd - 0,020515w^2 - 0,54925n^2 - 4,222d^2. \quad (28)$$

Адекватность уравнения в кодированном виде при уровне значимости 0,05 % говорит о том, что погрешность вычислений при реализации полученной модели на практике в установленном диапазоне варьирования факторов не превысит 5 %.

На рисунках 7, 8 представлены поверхности отклика, характеризующие зависимость параметра оптимизации от значимых факторов. Двумерные сечения позволяют получить представление о влиянии каждой пары факторов на параметр оптимизации. Исходное уравнение регрессии в этом случае сводят к уравнению с двумя факторами, стабилизируя другие на соответствующих уровнях.

Вытянутость эллипса (рисунок 8) показывает преобладание одного фактора над другим, а также степень влияния его на показатель неравномерности параметра оптимизации.

Анализ двумерных сечений показывает, что центры эксперимента находятся в исследуемой зоне и расчетные данные согласуются с экспериментальными, что позволяет установить оптимальные параметры для различных сочетаний факторов.

Согласно проведенному анализу рациональными параметрами устройства, при которых обеспечивается оптимальная работа в заданном интервале величин, являются следующие значения:

- частота вращения выгрузного шнека  $\omega$  – 40,3 об/мин – принимаем 40,0 об/мин;
- количество форсунок  $n$  – 6,9 шт. – принимаем 7 шт.;
- диаметр отверстия форсунки  $d$  – 3,2 мм – принимаем 3 мм.

Основная цель научного исследования такого рода состоит в том, чтобы выявить эффекты воздействия определенного фактора на изучаемую зависимую переменную. Профили желательности являются эффективным средством оптимизации технологических процессов. Профили прогнозируемых значений и желательности в оптимальном режиме работы представлены на рисунке 9.

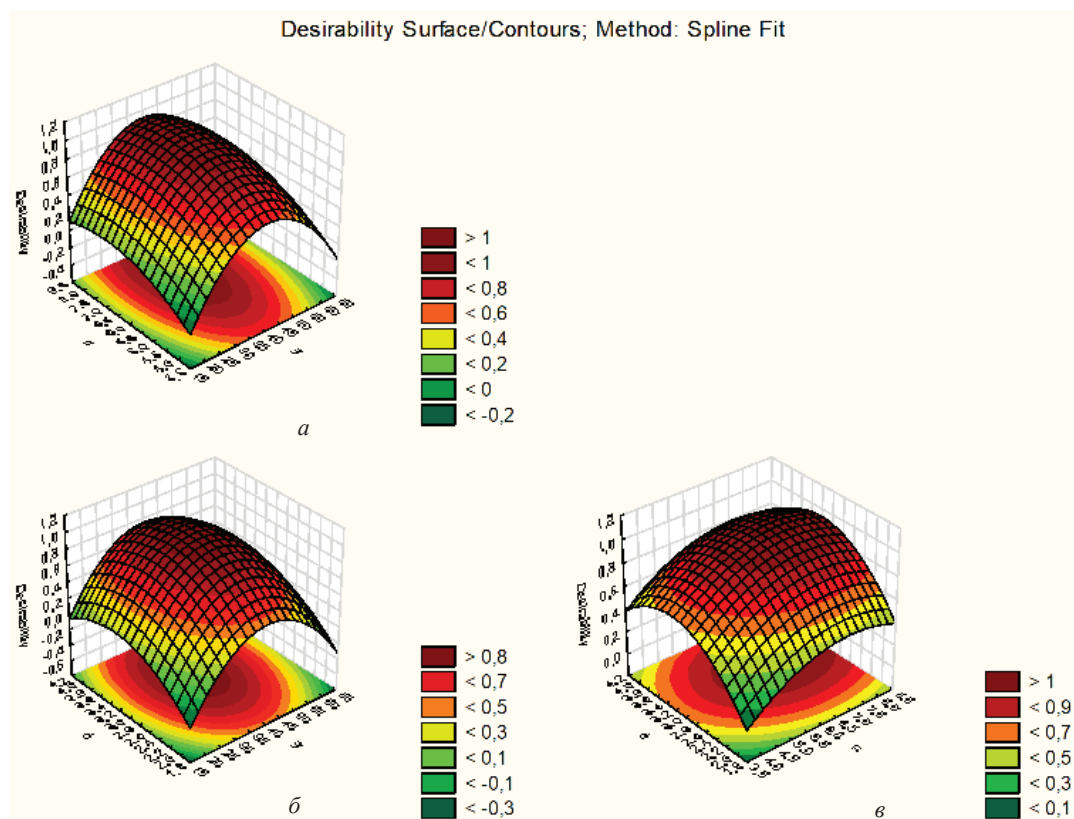


Рисунок 7 – Поверхности отклика: *a* – поверхность отклика  $K_o = f(n; w)$ ; *б* – поверхность отклика  $K_o = f(d; w)$ ; *в* – поверхность отклика  $K_o = f(d; n)$

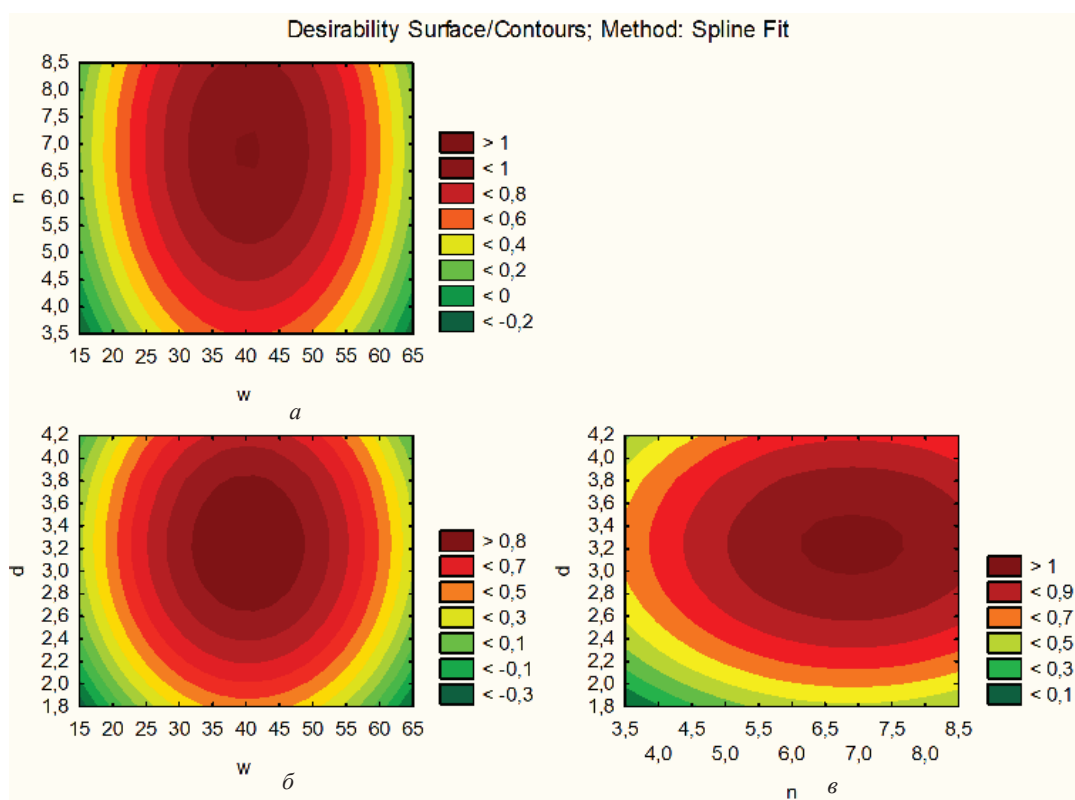


Рисунок 8 – Двумерные сечения: *a* – двумерное сечение  $K_o = f(n; w)$ ; *б* – двумерное сечение  $K_o = f(d; w)$ ; *в* – двумерное сечение  $K_o = f(d; n)$



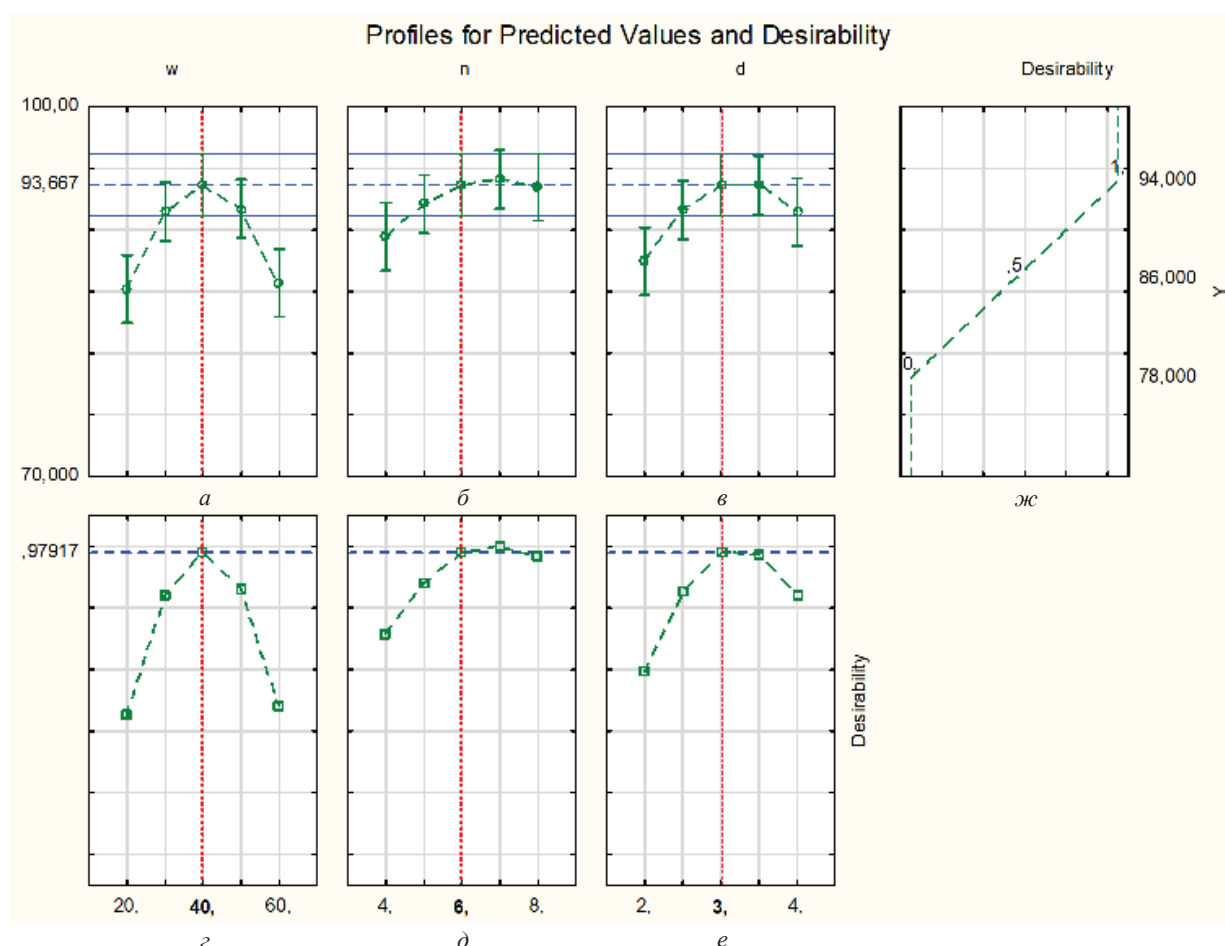


Рисунок 9 – Профили прогнозируемых значений и желательности в оптимальном режиме работы:  
 а – срез подогнанной функции зависимости  $K_0$  от  $w$ ; б – срез подогнанной функции зависимости  $K_0$  от  $n$ ; в – срез подогнанной функции зависимости  $K_0$  от  $d$ ; г – оптимальный уровень  $K_0$ ;  
 д – оптимальный уровень  $d$ ; е – оптимальный уровень  $b$ ; жс – функция желательности

Рисунок состоит из двух линий графиков. График в правом верхнем углу отображает функцию желательности (рисунок 9, жс). Графики в верхней линии (рисунки 9, а; 9, б; 9, в) кроме функции желательности отображают срезы подогнанной функции зависимости  $K_0$  от соответствующей зависимой переменной при фиксации остальных переменных на их оптимальных уровнях.

Оптимальные уровни независимых переменных отображены на графиках в нижней части рисунка красными линиями (рисунки 9, г; 9, д; 9, е). В нижней серии графиков изображены изменения функции желательности при вариации соответствующих независимых переменных.

В результате анализа рисунка оптимального профиля, мы получаем значение  $K_0 = 94,97917$ , значение желательности = 1,0. На практике для удобства показатели компонента округляют до целых значений.

### Заключение

На основе полученных результатов будет произведена обработка данных для рецепта № 3, поскольку в данной рецептуре предусмотрен ввод наибольшего количества мелассы, ввиду чего наиболее часто возникает ряд негативных факторов, таких как комкование и неоднородность смешивания компонентов кормосмеси.

Согласно проведенному анализу рациональными параметрами разработанного устройства, при которых обеспечивается оптимальная работа в заданном интервале величин, являются следующие значения:

- частота вращения выгрузного шнека  $\omega$  – 40,3 об/мин – принимаем 40,0 об/мин;
- количество форсунок  $n$  – 6,9 шт. – принимаем 7 шт.;
- диаметр отверстия форсунки  $d$  – 3,2 мм – принимаем 3 мм.

Адекватность уравнения в кодированном виде при уровне значимости 0,05 % говорит о том, что погрешность вычислений при реализации полученной модели на практике в установленном диапазоне варьирования факторов не превысит 5 %.

#### **Список использованных источников**

1. Алферов, А. С. Экспериментальные исследования процесса смешивания сухих и жидких компонентов комбикормов / Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – № 10 (96). – С. 115–118.
2. Налимов, В. В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В. В. Налимов, Н. А. Чернова. – М. : Наука, 1965. – 338 с.
3. Хайлис, Г. А. Исследования сельскохозяйственной техники и обработка опытных данных / Г. А. Хайлис, М. М. Ковалев. – М. : Колос, 1994. – 169 с.
4. Спиридонов, А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А. А. Спиридонов. – М. : Машиностроение, 1981. – 184 с.
5. Жарский, И. М. Планирование и организация эксперимента : учеб. пособие / И. М. Жарский, Б. А. Каледин, И. Ф. Кузьмицкий. – Минск : БГТУ, 2003. – 184 с.
6. Леонов, А. Н. Основы моделирования : учеб.-метод. пособие / А. Н. Леонов, М. М. Дечко, В. Б. Ловкис. – Минск : БГАТУ, 2020. – 160 с.

Л. Е. Жилич<sup>1</sup>, С. А. Цалко<sup>1</sup>, О. Л. Екельчик<sup>1</sup>, В. П. Цай<sup>2</sup>

<sup>1</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: npc\_mol@mail.ru

<sup>2</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству»

г. Жодино, Республика Беларусь

E-mail: labkrs@mail.ru

## **ВЛИЯНИЕ СКАРМЛИВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЕЙ СОЛОДОВЫХ РОСТКОВ В СОСТАВЕ КОМБИКОРМОВ ДЛЯ ОТКАРМЛИВАЕМОГО МОЛОДНЯКА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА НА МЯСНУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО МЯСА**

*Аннотация.* Скармливание в составе рационов комбикормов с солодовыми ростками в количестве 15 % по массе оказало положительное влияние на рост мясной продуктивности: более высокий выход туш – на 3,4 %, улучшение технологических показателей мяса – белково-качественного показателя на 5,2 %.

*Ключевые слова:* бычки, рацион, солодовые ростки, продуктивность, продукты убоя.

E. L. Zhilich<sup>1</sup>, S. A. Tsalko<sup>1</sup>, O. L. Ekelchik<sup>1</sup>, V. P. Tzai<sup>2</sup>

<sup>1</sup>RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: npc\_mol@mail.ru

<sup>2</sup>RUE “SPC NAS of Belarus on animal husbandry”

Zhodino, Republic of Belarus

E-mail: labkrs@mail.ru

## **INFLUENCE OF FEEDING DIFFERENT LEVELS OF MALT SPROUTS AS COMPOSITION OF MIXED FEEDS FOR FATTERING YOUNG CATTLE ON MEAT PRODUCTIVITY AND MEAT QUALITY**

*Abstract.* Feeding mixed feed with malt sprouts in an amount of 15 % by weight as part of diets had a positive effect on the growth of meat productivity: higher carcass yield – by 3,4 %, improvement in technological indicators of meat – protein quality indicator by 5,2 %.

*Keywords:* steers, diet, malt sprouts, productivity, slaughter products.

### **Введение**

Мясная продуктивность крупного рогатого скота характеризуется количественными и качественными показателями. Количественными показателями являются живая и убойная масса, убойный выход, абсолютный, относительный и среднесуточный прирост, субпродукты, используемые в пищу. К качественным показателям относят морфологический состав туши, химический состав, калорийность, биологическую полноценность и вкусовые свойства мяса. Количественные показатели мясной продуктивности зависят главным образом от условий кормления и содержания. На качественные показатели помимо этих условий в значительной степени влияют породные особенности животных, пол и возраст. При производстве говядины чрезвычайно важно знать ее химический состав, что позволяет судить о физиологической зрелости мяса, его энергетической ценности, особенностях конверсии кормов в те или иные химические соединения, решать вопрос о целесообразных сроках убоя. Питательные достоинства мяса определяются содержанием в нем главным образом жира и белка, а также воды и золы. В зависимости от рационов кормления, условий содержания, возраста, массы и упитанности животных очень резко изменяется химический состав мяса [1–5].

## Основная часть

Материалом исследований явились рационы молодняка крупного рогатого скота при выращивании на мясо в различные периоды выращивания. Для решения поставленных задач в соответствии со схемой исследований сотрудниками лаборатории кормления и физиологии питания крупного рогатого скота РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по животноводству» организован и проведен научно-хозяйственный опыт продолжительностью 90 дней по установлению влияния скармливания солодовых ростков в составе комбикормов КР-3 на мясную продуктивность и качество мяса молодняка крупного рогатого скота на откорме у 4 групп.

Содержание животных привязное, фронт кормления и поения, параметры микроклимата во всех группах одинаковые. Основной рацион по набору кормов контрольной и опытных групп был максимально одинаковым, и состоял из объемистых кормов – сенаж, силос, а также концентрированных кормов, которые скармливали согласно схеме опытов [6].

После откорма бычков провели контрольный убой в условиях цеха по переработке мясной продукции ГП «ЖодиноАгроПлемЭлита».

Результаты контрольного убоя подопытных бычков представлены в таблице 1 из данных которой видно, что животные 2-й группы по массе туши, убойной массе и убойному выходу значительно превосходили своих сверстников из контрольной и опытных групп.

Таблица 1 – Результаты контрольного убоя

Показатели	Группы			
	1-я контрольная	2-я опытная	3-я опытная	4-я опытная
Предубойная масса, кг	412,7 ± 5,4	423,5 ± 6,2	414,2 ± 5,8	421,4 ± 4,9
Масса парной туши, кг	212,5 ± 4,4	230,8 ± 6,1	224,7 ± 5,6	228,7 ± 5,3
Выход туши, %	51,7 ± 0,65	55,1 ± 0,42	52,4 ± 0,51	54,4 ± 0,42
Масса внутреннего жира, кг	6,5 ± 0,24	8,8 ± 0,13	8,2 ± 0,22	11,3 ± 0,20
Убойная масса, кг	218,6 ± 4,7	239,6 ± 5,2	228,2 ± 5,6	232,1 ± 4,4
Убойный выход, %	53,1 ± 0,54	56,5 ± 0,35	53,93 ± 0,48	55,1 ± 0,35

Так убойный выход у них был равен 56,5 % или на 4,5 % выше контрольного варианта. Менее существенные различия получены у молодняка 3-й и 4-й групп.

Различия между группами по массе печени, сердца, легких, селезенки не имели достоверных различий. При визуальном их осмотре не выявлено каких-либо патологических изменений.

С целью определения морфологического состава туш, выхода мякоти, костей и сухожилий проведена обвалка туш в течение 24 ч. У бычков, потреблявших комбикорма с включением солодовых ростков в количестве 15; 30 и 40 %, масса охлажденной туши оказалась выше на 3,2–5,5 % контрольного варианта, тем не менее, различия оказались более существенными у молодняка 2-й опытной группы (таблица 2).

Таблица 2 – Морфологический состав туш

Показатели	Группы			
	1-я контрольная	2-я опытная	3-я опытная	4-я опытная
Масса охлажденной туши, кг	208,7 ± 3,4	228,6 ± 5,1	222,4 ± 4,1	225,6 ± 4,3
Мышечная ткань с жиром	154,7 ± 3,3	169,1 ± 4,1	162,1 ± 4,1	166,2 ± 4,2
Выход мышечной ткани, %	74,2	73,9	72,88	73,6
Жировая ткань, кг	2,1 ± 0,05	2,8 ± 0,03	2,4 ± 0,06	2,7 ± 0,07
Выход жировой ткани, %	1,1	1,2	1,1	1,2
Соединительная ткань, кг	7,1 ± 0,32	8,4 ± 0,15	7,9 ± 0,21	8,1 ± 0,3
Выход соединительной ткани, %	3,4	3,7	3,6	3,6
Костная ткань, кг	42,1 ± 1,85	43,7 ± 1,81	43,1 ± 1,78	43,9 ± 2,14
Выход костной ткани, %	20,2	19,6	19,3	19,5
Коэффициент мясности	3,61	3,82	3,79	3,85
Выход мякоти на 100 кг живой массы, кг	34,9	37,1	35,2	36,3
Отношение съедобной части туши к несъедобной	3,1	3,2	3,2	3,2



Установлена устойчивая динамика к увеличению выхода мякоти туш молодняка опытных групп, в рационы которых входили комбикорма с содержанием солодовых ростков в количестве 15; 30 и 40 % по массе. Тенденция отмечена за счет увеличения как мышечной, так и жировой ткани.

Как показывают полученные данные самое высокое отложение внутреннего жира (2,4–2,8 кг) оказалось в тушах бычков 2, 3 и 4-й опытных групп, в состав комбикормов которых входили солодовые ростки в количестве 15, 30 и 40 % по массе, что на 0,3–0,7 кг больше, чем в контрольной группе.

Установлено, что с повышением интенсивности роста бычков уменьшается удельная масса костей по отношению к массе охлажденной туши за счет усиленного наращивания массы мышечной ткани. Так, у животных контрольной группы выход костной ткани туш составил 20,2 %, при 19,3–19,6 % в опытных группах.

О качестве мясных туш говорит коэффициент мясности: чем выше данный показатель, тем лучше качество туш. В результате исследований установлено, что в тушах опытного молодняка он был наиболее высоким 3,79–3,85 единиц, что превосходит аналогов из контрольных групп на 0,18–0,21 %.

По такому показателю, как выход мякоти на 100 кг живой массы, туши животных опытных групп превосходили контрольных на 0,3–2,2 кг. Наилучший результат получен у молодняка 2-й и 4-й групп – 37,1 и 36,3 кг (или на 6,3 и 4,0 %), несколько ниже он у животных 3-й группы (0,8 %).

При определении соотношения съедобных частей туш к несъедобным наиболее благоприятное отношение установлено в опытных группах, где данный показатель превышал контроль на 3,2 %. Анализ данных химического состава длиннейшей мышцы спины, средней пробы мяса и печени животных контрольной и опытных групп показало (таблица 3), что по количеству влаги, протеина, жира и золы образцы находились практически на одном уровне. Эти показатели имели незначительные отклонения в контрольной и опытных группах.

**Таблица 3 – Химический состав длиннейшей мышцы спины, средней пробы мяса и печени подопытных животных**

Показатели	Группы			
	1-я контрольная	2-я опытная	3-я опытная	4-я опытная
<b>длиннейшая мышца спины</b>				
Сухое вещество, %	22,3 ± 0,4	23,1 ± 0,3	25,5 ± 0,6	24,4 ± 0,5
Протеин, %	20,7 ± 0,36	21,2 ± 0,38	23,3 ± 0,6	22,3 ± 0,4
Жир, %	2,9 ± 0,19	3,1 ± 0,21	3,4 ± 0,3	3,2 ± 0,24
Зола, %	0,78 ± 0,03	0,64 ± 0,05	0,59 ± 0,1	0,81 ± 0,09
<b>средняя проба мяса</b>				
Сухое вещество, %	31,7 ± 0,7	33,1 ± 0,9	34,4 ± 0,7	33,4 ± 0,6
Протеин, %	20,0 ± 0,21	21,3 ± 0,22	21,5 ± 0,24	20,8 ± 0,23
Жир, %	9,4 ± 0,51	10,2 ± 0,54	10,5 ± 0,48	10,4 ± 0,53
Зола, %	1,1 ± 0,14	0,8 ± 0,11	1,2 ± 0,22	0,9 ± 0,13
<b>печень</b>				
Сухое вещество, %	25,7 ± 0,53	26,8 ± 0,61	28,6 ± 0,7	28,2 ± 0,67
Протеин, %	20,4 ± 0,23	21,4 ± 0,24	22,5 ± 0,54	21,7 ± 0,42
Жир, %	5,4 ± 0,39	5,5 ± 0,29	5,81 ± 0,29	5,73 ± 0,31
Зола, %	1,3 ± 0,07	1,5 ± 0,09	1,8 ± 0,08	1,84 ± 0,08

Опыты, проведенные с использованием солодовых ростков в составе комбикорма в количестве 15–40 % по массе, оказали положительный эффект на протеиновый состав мяса. Наличие его в длиннейшей мышце спины в контрольной группе составило 20,7 %, а в опытных – 21,2–23,3 %. Причем использование солодовых ростков в количестве до 30 % по массе отразилось на повышении содержания белка (на 0,5 и 2,6 п. п.) при незначительных различиях жира. По уровню золы в длиннейшей мышце спины отмечены несущественные различия между группами.

Полученные результаты при скормливании комбикормов с различным количеством ввода солодовых ростков свидетельствуют о том, что в средней пробе мяса бычков всех опытных групп

содержалось больше сухих веществ, протеина и жира. Так, количество сухого вещества было выше на 0,4–2,7 п. п., где наилучший показатель отмечен у молодняка 3-й и 4-й групп, которые получали в составе комбикорма солодовые ростки в количестве 30 и 40 % по массе.

Отмечено, что содержание протеина в мясе бычков опытных групп, получавших солодовые ростки в количестве 15, 30, 40 % по массе, выше: установлено повышение белка на 1,3–3,5 п. п.

Наибольшее количество жира отмечено в мясе бычков, получавших солодовые ростки в количестве 30 и 40 % по массе (на 0,8–0,9 п. п.), несколько ниже этот показатель во 2-й опытной группе. Следует отметить, что оптимальным содержанием жира в высококачественной говядине считается не более 10–12 %.

Печень представляет собой сложнейшую биохимическую лабораторию, в которой происходит синтез, распад и превращение питательных веществ. По содержанию жира в печени животных опытных групп различия были незначительные и составили 0,1–0,4 п. п. по отношению к контролю. Похожие различия установлены по содержанию протеина в опытных группах по сравнению с контрольным вариантом (1,0–2,4 п. п.).

О биологической ценности мяса и мясопродуктов судят также по белково-качественному показателю. Белково-качественный показатель характеризует пропорциональное соотношение в мясе полноценных (триптофан) и неполноценных (оксипролин) белков. Наиболее высоким данный показатель был в мясе бычков 2-й группы, получавших в составе комбикормов 15 % солодовых ростков по массе ( $P < 0,05$ ), что выше контрольного варианта на 5,1 %. Содержание в мясе оксипролина и триптофана находилось в пределах нормы.

Показателями комплексной оценки мясной продуктивности бычков является их способность к перевариванию питательных веществ, энергии рационов в организме для синтеза компонентов мяса (таблица 4).

Таблица 4 – Конверсия энергии и протеина корма в энергию и белок мякотной части туши

Показатели	Группы			
	1-я контрольная	2-я опытная	3-я опытная	4-я опытная
Затрачено сырого протеина на 1 кг прироста живой массы, г	1 143,4	1 134,2	1 131,6	1 133,8
Затрачено энергии кормов на 1 кг прироста живой массы, МДж	71,5	71,6	72,5	72,0
Масса мякоти, кг	157,1	165,9	163,4	166,7
Содержится в мякоти туши:				
белка, кг	31,4	35,3	35,1	34,6
белка, %	19,9	21,3	21,5	20,8
жира, кг	14,8	16,9	17,1	17,5
Отложено на 1 кг предубойной массы:				
белка, г	76	83,3	84,7	82,1
жира, г	35,8	39,9	41,2	41,5
энергии, МДж	3,15	3,46	3,51	3,32
Коэффициент конверсии кормового протеина в протеин мякоти туши, %	6,65	7,34	7,48	7,24
Коэффициент конверсии энергии кормов в энергию мякоти туши, %	3,68	3,72	3,80	3,94

Опытами подтверждено, что в опытных группах при снижении затрат сырого протеина на 1 кг прироста содержание белка в мякоти туши увеличивается. Использование в рационе молодняка крупного рогатого скота комбикормов с вводом 15 и 30 % солодовых ростков (2-я и 3-я опытные группы) привело к увеличению количества белка в мякоти туши соответственно на 12,4 и 11,7 %.

Более эффективно кормовой протеин использовали животные 2-й и 3-й групп, где в состав комбикормов вводили 15 и 30 % по массе солодовых ростков, поскольку расход протеина на 1 кг прироста живой массы у них был ниже на 0,8–1 % контрольного значения при превосходстве содержания белка в мякоти туши. У животных опытных групп повышался уровень питательных веществ в организме, что отразилось и на динамике показателей конверсии протеина и энергии

корма в протеин и энергию мякоти туши. Наиболее интенсивно формировался протеин рациона в протеин мякоти туши у молодняка 2-й и 3-й групп с вводом в состав комбикормов 15 и 30 % солодовых ростков, при увеличении коэффициента конверсии на 10,1–12,4 % по отношению к контрольной группе. Кроме того, наблюдается увеличение коэффициента конверсии энергии корма в энергию полученной продукции.

На основании проведенных исследований, можно отметить, что скормливание в составе рационов комбикормов с солодовыми ростками в количестве 15 % по массе оказало положительное влияние на рост мясной продуктивности: более высокий выход туш – на 3,4 %, улучшение технологических показателей мяса – белково-качественного показателя на 5,2 %.

### **Заключение**

Таким образом, результаты контрольного убоя подопытных бычков показали, что животные 2-й опытной группы по массе туши, убойной массе и убойному выходу значительно превосходили своих сверстников из контрольной и опытных групп. Так, убойный выход у них был равен 56,5 % или на 4,5 % выше контрольного варианта. Менее существенные различия получены у молодняка 3-й и 4-й групп.

Анализ морфологического состава туш, выхода мякоти, костей и сухожилий показал, что от бычков, потреблявших комбикорма с включением солодовых ростков в количестве 15, 30 и 40 %, масса охлажденной туши оказалась выше на 3,2–5,5 % контрольного варианта.

Установлено, что с повышением интенсивности роста бычков, уменьшается удельная масса костей относительно массы охлажденной туши за счет усиленного наращивания массы мышечной ткани. Так, у животных контрольной группы выход костной ткани туш составил 20,2 %, при 19,3–19,6 % в опытных группах.

Скормливание солодовых ростков в рационах откармливаемого молодняка оказало положительный эффект на протеиновый состав в длиннейшей мышце спины, повысив его на 0,5–2,6 п. п., а в средней пробе мяса бычков всех опытных групп – содержание сухого вещества на 0,4–2,7 п. п., протеина – на 1,3–3,5 п. п. и жира – на 0,8–0,9 п. п.

### **Список использованных источников**

1. Влияния различного количества жмыха и шрота из нового сорта рапса на продуктивность бычков и качество мяса / Т. Л. Сапсалева, В. П. Цай, Ю. Ю. Ковалевская [и др.] // Научно-технический бюллетень Института биологии животных и деляжного научно-исследовательского контрольного института ветпрепаратов та кормовых добавок. – Вып. 11. – № 2, 3, Львов. – Спелом, 2010. – С. 184–189.
2. Горлов, И. Ф. Интенсификация производства говядины: монография / И. Ф. Горлов // Волгоград. – 2007. – 365 с.
3. «ИПАН» – кормовая добавка биологически активных веществ, ее безвредность и влияние на качество мяса бычков / В. П. Цай, В. Ф. Радчиков, В. К. Гурип [и др.] // Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва : зб. наук. пр. – Біла Церква, 2014. – № 2 (112). – С. 17–21.
4. Кобыляцкий, П. С. Оптимальный возраст убоя скота и его влияние на качество говядины / П. С. Кобыляцкий // Ветеринарная патология. – 2010. – № 4. – С. 39–43.
5. Нормы кормления крупного рогатого скота : справочник / Н. А. Попков [и др.]. – Жодино : РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству». – 2011. – 260 с.
6. Использование вторичных ресурсов пищевой промышленности (солод пивоваренный, картофельная мезга) в кормлении крупного рогатого скота: рекомендации / В. Ф. Радчиков, А. И. Саханчук, В. П. Цай [и др.] // РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по животноводству». – Жодино, 2020. – 18 с.

Ю. Н. Рогальская<sup>1</sup>, С. А. Цалко<sup>1</sup>, В. П. Цай<sup>2</sup>

<sup>1</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: npc\_mol@mail.ru

<sup>2</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству»

г. Жодино, Республика Беларусь

E-mail: labkrs@mail.ru

## ПЕРЕВАРИМОСТЬ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ РАЦИОНОВ БЫЧКАМИ ПРИ СКАРМЛИВАНИИ СОЛОДОВЫХ РОСТКОВ

*Аннотация.* Скармливание животным рационов с увеличенным содержанием солодовых ростков не оказало положительного влияния на интенсивность пищеварительных процессов, отразившихся на качестве обмена веществ.

*Ключевые слова:* бычки, комбикорм, рацион, солодовые ростки, переваримость, продуктивная ценность.

Yu. N. Rogalskaya<sup>1</sup>, S. A. Tsalko<sup>1</sup>, V. P. Tzai<sup>2</sup>

<sup>1</sup>RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: npc\_mol@mail.ru

<sup>2</sup>RUE "SPC NAS of Belarus on animal husbandry"

Zhodino, Republic of Belarus

E-mail: labkrs@mail.ru

## DIGESTABILITY OF NUTRIENTS IN DIETS CALLS WHEN FEEDING MALT SPROUTS

*Abstract.* Feeding animals diets with an increased content of malt sprouts did not have a positive effect on the intensity of digestive processes, which affected the quality of metabolism.

*Keywords:* gobies, diet, malt sprouts, digestibility, productive value.

### Введение

Важнейшим показателем, характеризующим эффективность использования кормов, является переваримость питательных веществ, которая напрямую зависит от степени сбалансированности рациона, живой массы животных, их возраста, физиологического состояния и других факторов. Рост молодняка зависит от уровня биохимических процессов в организме, на который оказывает большое влияние состав и качество кормов рациона, поскольку корма при любом химическом составе имеют различную степень переваримости питательных веществ и разную степень усвоения, что и определяет их продуктивную ценность [1–4].

### Основная часть

Переваримость – это свойство органических питательных веществ кормов превращаться в используемое состояние под воздействием процессов, протекающих в пищеварительном тракте животных. В процессе переваривания устраняются специфичность органических соединений кормовых средств, высвобождаются структуры, доступные для всасывания, с которыми поступает в организм основная масса энергии.

Цель исследований – изучить переваримость питательных веществ рационов молодняка крупного рогатого скота при скармливании комбикормов с включением солодовых ростков. Для реализации поставленной цели проведен физиологический опыт продолжительностью 30 дней.



Различия в кормлении заключались в том, что в контрольной группе использован рацион со стандартным комбикормом, а в опытных группах животные получали комбикорма, в состав которых были включены солодовые ростки в количестве 10, 20, 30 % вместо зерновой части комбикормов и части шрота подсолнечного.

В процессе исследований использованы зоотехнические, биохимические и математические методы анализа.

Нами проведен опыт, в котором изучалось влияние включения различных дозировок солодовых ростков в состав комбикормов КР-2 на переваримость питательных веществ, баланс азота, кальция и фосфора у бычков на откорме.

Переваримость питательных веществ является важным показателем, по которому можно судить о процессах переваривания кормов. Питательные вещества, содержащиеся в кормах, находятся в форме высокомолекулярных соединений и поэтому не могут в первоначальном виде трансформироваться через стенки клеток ЖКТ в ткани животного. Первоначально они должны расщепляться до более простых их составляющих, перейти в раствор и только после этого могут всасываться. Поэтому первым этапом обмена веществ между организмом животного и внешней средой является подготовка компонентов корма к всасыванию – переваривание.

Молодняк, получавший рационы с различным количеством солодовых ростков, по-разному переваривал питательные вещества потребленных кормов (таблица 1).

Таблица 1 – Коэффициенты переваримости питательных веществ, %

Показатели	Группы			
	1-я контрольная	2-я опытная	3-я опытная	4-я опытная
Сухое вещество	71,2 ± 3,07	73,3 ± 0,27	72,6 ± 0,46	69,9 ± 0,72
Органическое вещество	72,4 ± 3,01	74,3 ± 0,24	73,8 ± 0,46	71,1 ± 0,76
БЭВ	78,9 ± 3,01	79,4 ± 0,24	78,8 ± 0,46	75,8 ± 0,76
Жир	49,2 ± 4,84	51,1 ± 2,23	50,8 ± 0,90	43,9 ± 1,92
Протеин	62,8 ± 5,67	66,7 ± 0,28	64,8 ± 1,72	63,1 ± 0,53
Клетчатка	52,9 ± 5,67	60,9 ± 0,63	61,8 ± 1,36	61,1 ± 3,12

Утилизация принятых питательных веществ происходит наиболее интенсивно при скармливании молодняку комбикормов с 10 и 20 % солодовых ростков. Так, различия по переваримости сухого вещества составляют 2,1 и 1,4 п. п. в пользу животных, выращиваемых на рационах с комбикормами, содержащими 10 и 20 % солодовых ростков по отношению к контролю соответственно. Органическое вещество лучше переваривали бычки 2-й и 3-й опытных групп с разницей к контролю в 1,9 и 1,4 п. п. соответственно.

Переваримость азотсодержащих веществ у бычков всех опытных групп была выше, чем в 1-й контрольной группе на 0,3–3,9 п. п. Однако отмечено снижение переваримости протеина рациона с увеличением концентрации солодовых ростков с 66,7 % во 2-й опытной группе до 63,1 % в 4-й опытной группе.

Переваримость сырого жира во многом зависела от содержания последнего в рационах. Между потреблением сырого жира с кормами рациона и его переваримостью установлена высокая прямая взаимосвязь. Следовательно, опытные животные 2-й и 3-й групп характеризовались лучшей переваримостью сырого жира, чем их аналоги 1-й контрольной группы на 1,9 и 1,6 п. п. ( $P > 0,05$ ). Переваримость жира варьировалась достаточно в широких пределах. Если контрольная, 2-я и 3-я опытные группы переваривали жир достаточно на высоком уровне с разбежкой в переваримости максимум 1,9 п. п., то в 4-й опытной группе переваримость снизилась на 5,3 п. п. относительно контроля и на 7,2 п. п. лучшего опытного. Следует отметить, что с увеличением уровня ввода солодовых ростков в состав комбикормов снизилось потребление питательных веществ рационами, что отрицательно повлияло на их переваримость.

Однако по переваримости клетчатки установлено, что использование более высоких уровней солодовых ростков в рационах способствовало ее переваримости относительно контроля на 8,0–8,9 п. п.

По переваримости БЭВ не установлено значительных различий у 2-й и 3-й опытных групп со сверстниками контрольной группы. Только снижение ее переваримости установлено в 4-й опытной группе, потреблявшей в своем составе рациона комбикорм с 30 % солодовых ростков.

Соответствующее обеспечение микрофлоры питательными веществами способствует более высокому их потреблению и повышению переваримости, что оказывает в целом благоприятное влияние на обмен веществ и продуктивные качества молодняка, что и отмечается в наших исследованиях.

Переваримость животными протеина кормов не дает полного представления о его качестве и не всегда сопоставима с их продуктивностью, поскольку не все его количество используется для жизнедеятельности организма и наращивания у молодняка массы тела. Изучение показателей обмена азота в организме косвенно отражает не только качественную сторону используемого рациона, но и дает определенное представление о продуктивных возможностях животного.

В связи с вышеуказанным, для более полного изучения характеристики испытуемых рационов нами был изучен баланс азота в организме подопытного молодняка (таблица 2).

Таблица 2 – Баланс и использование азота, кальция и фосфора в организме животных, гол/сутки

Показатели	Группы			
	1-я контрольная	2-я опытная	3-я опытная	4-я опытная
Использование азота				
Поступило с кормом, г	91,1	97,3	101,7	95,0
Выделено с калом, г	33,8	32,4	35,7	35,1
Усвоено, г	57,3	64,9	65,9	60,0
Выделено с мочой, г	4,5	4,3	5,8	5,3
Отложено, г	52,8	60,7	60,2	54,7
Отложено от принятого, %	57,9	62,4	59,2	57,6
Отложено от переваренного, %	92,2	93,4	91,3	91,2
Использование кальция				
Поступило с кормом, г	40,6	41,9	42,1	37,9
Выделено с калом, г	7,0	6,2	6,3	6,7
Усвоено, г	33,6	35,7	35,9	31,1
Выделено с мочой, г	7,5	7,2	8,5	9,0
Отложено, г	26,1	28,5	27,4	22,1
Отложено от принятого, %	64,3	68,1	65,0	58,3
Отложено от переваренного, %	77,7	79,9	76,4	71,0
Использование фосфора				
Поступило с кормом, г	21,3	21,9	22,0	19,8
Выделено с калом, г	4,4	4,1	4,0	3,8
Усвоено, г	16,8	17,8	18,0	16,0
Выделено с мочой, г	5,1	4,1	5,7	5,5
Отложено, г	11,8	13,7	12,3	10,4
Отложено от принятого, %	55,4	62,6	55,8	52,7
Отложено от переваренного, %	69,9	77,0	68,2	65,4

Закономерность, замеченная по переваримости питательных веществ, в использовании азота корма различалась незначительно.

Ввиду неодинаковой поедаемости кормов рационов выявились определенные различия в количестве принятого азота между группами. Наибольшее поступление азота с кормом было отмечено у животных 3-й опытной группы, которые получали рацион с уровнем ввода 20 % солодовых ростков в составе комбикорма. Они превосходили по этому показателю 2-ю опытную группу на 4,5 %.

Наибольшее количество переваренного азота наблюдалось у бычков 3-й опытной группы – 65,9 г, что выше, чем у животных 1-й контрольной группы на 8,6 г или на 15,0 %. Разница между 1-й контрольной и 2-й опытной группами была достаточно существенной и составила 7,6 г или 13,3 % в пользу последней.

Животные 1-й контрольной группы уступали аналогам из 2-й и 3-й опытных групп по ретенции азота на 7,9 и 7,4 г или 14,9 и 14,0 % соответственно.

Полученные различия определенным образом сказались и на использовании азота организмом животных. Так, молодняк 1-й контрольной группы использовал его на 57,9 % от принятого, что ниже на 4,5 п. п., чем аналоги из 2-й опытной группы и на 1,3 п. п., чем в 3-й опытной.

Отложение азота в 1-й контрольной и 2-й опытной группах составило соответственно 92,2 и 93,4 % от переваренного, против 91,3 % в 3-й опытной группе.

Все процессы усвоения, превращения веществ происходят только в средах с определенным химическим составом, постоянство же среды регулируется минеральными веществами.

Изучение обмена кальция и фосфора имеет большое значение, так как эти элементы играют важную роль в формировании организма животного. У животных всех групп баланс кальция и фосфора был положительным. Бычки 2-й и 3-й опытных групп приняли кальция больше на 1,3 (3,2 %) и 1,5 г (3,7 %) соответственно, чем сверстники 1-й контрольной. Это связано с различным потреблением кормов рационами этими животными.

Животные опытных групп выделяли кальция с калом меньше, чем сверстники из 1-й контрольной группы на 0,3–0,8 г. Опытный молодняк 2-й и 3-й групп превосходил по усвоению кальция контрольных аналогов на 6,3 % и 6,8 % соответственно. Отложение кальция в теле молодняка 2-й опытной группы было самым высоким и превосходило сверстников контроля на 2,4 г ( $P < 0,05$ ). В организме бычков 3-й опытной группы также отложилось больше кальция, чем в контроле на 5,0 %. Следовательно, использование кальция молодняком 1-й контрольной и 3-й опытной групп было практически на одном уровне, во 2-й опытной – на 3,8 п. п. выше.

Эффективность использования фосфора в организме крупного рогатого скота зависит от уровня кальция в рационе. При его избытке в рационе снижается усвояемость и ретенция фосфора в организме животных.

Для оценки обеспеченности животных минеральными веществами имеет значение не только валовое содержание их в рационе, но и степень усвоения в организме.

Существенных межгрупповых различий в потреблении подопытным молодняком фосфора не выявлено.

Имело место незначительно меньшее потребление фосфора молодняком 4-й опытной группы. Это связано с меньшим потреблением кормов рациона. В усвоении фосфора между бычками 1-й контрольной и 2-й опытной групп существенных различий не установлено. Молодняком 3-й опытной группы было усвоено фосфора на 1,2 г или 7,1 % больше контроля.

Потери фосфора с мочой у бычков 3-й опытной группы составили 5,7 г, что против сверстников из 1-й контрольной и остальных опытных групп является наивысшим значением.

Однако отложение фосфора в теле имело тенденцию, отмеченную выше. Превосходство животных 2-й опытной группы над контрольными аналогами составило 16,1 % (1,9 г). Существенных различий по отложению в теле фосфора между бычками 3-й опытной и 1-й контрольной групп не установлено.

Самый низкий показатель отложения был зафиксирован в группе молодняка, потреблявшего максимальное количество солодовых ростков, что в первую очередь связано с количеством потребляемого корма.

Скармливание животным рационов с увеличенным содержанием солодовых ростков не оказало положительного влияния на интенсивность пищеварительных процессов, отразившихся на качестве обмена веществ. Животные 2-й опытной группы использовали азот корма для отложения от усвоенного в теле на 1,2 п. п. эффективнее. Молодняк 2-й опытной группы отложил в теле кальция на 2,2 п. п. и фосфора на 7,1 п. п. больше контроля. Эффективность использования этих элементов бычками 3-й опытной группы была также на достаточно высоком уровне – 76,4 и 68,2 % соответственно, отражая интенсивность и направленность обменных процессов в организме.

Влияние различных уровней солодовых ростков в составе комбикорма на рост и продуктивность подопытного молодняка в период балансового опыта определяли по изменению живой массы (таблица 3).

Таблица 3 – Живая масса и продуктивность

Показатели	Группы			
	1-я контрольная	2-я опытная	3-я опытная	4-я опытная
Живая масса в начале опыта, кг	168,7 ± 2,72	172 ± 4,37	168 ± 8,73	174 ± 4,58
Живая масса в конце опыта, кг	194 ± 4,04	198,7 ± 3,17	193 ± 5,56	198 ± 4,16
Валовый прирост, кг	25,3 ± 2,72	26,3 ± 1,20	25 ± 3,21	24 ± 0,57
Среднесуточный прирост, г	844 ± 90,94	878 ± 40,06	833 ± 107,15	800 ± 19,24

Скармливание рационов с различными уровнями солодовых ростков в составе комбикормов показало положительную связь с интенсивностью роста опытных животных. Так, наиболее высокий прирост живой массы отмечен у молодняка, получавшего 10 % солодовых ростков в составе комбикорма, который превосходил на 4,03 % ( $P < 0,05$ ) 1-ю контрольную группу.

Опытные бычки 3-й группы, потребляющие рацион с увеличением уровня солодовых ростков до 20 % в составе комбикормов, показали менее эффективное использование корма. Среднесуточный прирост живой массы у этих животных составил 833 г, что на 1,3 % ниже контрольного показателя. Увеличение уровня солодовых ростков до 30 % в составе комбикорма не позволило получить желаемую продуктивность. Так, продуктивность снизилась на 5,21 % относительно контроля, что закономерно, так как животные данной группы на основании проведенных исследований потребляли и питательных веществ меньше, и переваримость их была ниже остальных подопытных групп. Вероятно скармливание большего уровня солодовых ростков вызывает снижение поедаемости кормов и угнетение обменных процессов в организме.

### Заключение

Таким образом, использование в рационах комбикормов с солодовыми ростками в количестве 10 и 20 % способствовало более высокой переваримости сухого вещества на 2,1 и 1,4 п. п., органического вещества – на 1,9 и 1,4, БЭВ – 0,5, жира – на 1,9 и 1,6, протеина – на 3,9 и 2,0, клетчатки – на 8,0 и 8,9 п. п. соответственно. Скармливание животным рационов с увеличенным содержанием солодовых ростков не оказало положительного влияния на интенсивность пищеварительных процессов, отразившихся на качестве обмена веществ. Животные 2-й опытной группы использовали азот корма для отложения от усвоенного в теле на 1,2 п. п. эффективнее. Молодняк 2-й опытной группы отложил в теле кальция – на 2,2 п. п. и фосфора – на 7,1 п. п. больше контроля. Эффективность использования этих элементов бычками 3-й опытной группы была также на достаточно высоком уровне – 76,4 и 68,2 % соответственно, отражая интенсивность и направленность обменных процессов в организме.

### Список использованных источников

1. Алиев, А. А. Обмен веществ у жвачных животных / А. А. Алиев. – М. : НИЦ «Инженер», 1997. – 420 с.
2. Походня, Г. С. Нетрадиционные источники протеина в рационах крупного рогатого скота / Г. С. Походня, П. И. Афанасьев. – Белгород : Изд. БелГСХА, 2006. – С. 1–2.
3. Разумовский, С. Н. Солодовые ростки в кормлении молодняка крупного рогатого скота / С. Н. Разумовский, В. Ф. Радчиков, В. П. Цай // Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. «Актуальні проблеми підвищення якості та безпека виробництва й переробки продукції тваринництва», 14 лютого 2020 р., Дніпро, 2020. – С. 69–71.
4. Вводим солодовые ростки в стартерный комбикорм / В. Ф. Радчиков, В. П. Цай, И. Ф. Горлов, М. И. Сложенкина // Животноводство России. – 2022. – № 2. – С. 54–56.



**В. В. Никончук, С. А. Цалко**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*E-mail: npc\_mol@mail.ru*

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ КОМПЛЕКТОВ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ КАПЕЛЬНОГО И МЕЛКОДИСПЕРСИОННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ (ТУМАНА) ПОМЕЩЕНИЯ**

*Аннотация.* В статье приведены технологические схемы комплекта оборудования для капельного и мелкодисперсионного охлаждения (тумана) помещения.

*Ключевые слова:* микроклимат, технологическая схема, система охлаждения, режим, фильтр, клапан, вентилятор.

**V. V. Nikonchuk, S. A. Tsalko**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"*

*Minsk, Republic of Belarus*

*E-mail: npc\_mol@mail.ru*

## **DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL SCHEMES OF EQUIPMENT SETS FOR DRIP AND FINE-DISPERSED COOLING (FOG) OF A ROOM**

*Abstract.* The article presents process flow diagrams of a set of equipment for drip and fine-dispersed cooling (fog) of a room.

*Keywords:* microclimate, flow chart, cooling system, mode, filter, valve, fan.

### **Введение**

В настоящее время в России и за рубежом разработан ряд технических систем для обеспечения нормальных условий для жизнедеятельности животных, в числе которых обязательным элементом являются устройства для измерения и контроля параметров микроклимата в реальном режиме времени. Как правило, существующие системы контролируют два параметра: температуру и относительную влажность воздуха в животноводческом помещении и не учитывают состояние газового состава воздуха (концентрацию углекислого газа, аммиака, сероводорода), что очень важно для обеспечения максимального использования генетического потенциала животных и здоровья обслуживающего персонала.

Различными учеными и исследованиями установлено снижение среднесуточного удоя коров в зимний период на 9,6–18,4 %, обусловленное сочетанием низкой температуры (до 5,8 °С), высокой влажности (до 98,3 %) и подвижности воздуха (до 0,81 м/с), а также снижение среднесуточного удоя коров на 9,2–17,8 % в летний период, что объясняется воздействием высокой температуры (до 29,6 °С), низкой влажности (до 32,1 %) и недостаточной скорости движения воздуха (до 0,56 м/с) [1–2].

Для каждого животного в отдельности существуют свои нейтральные зоны (зоны комфорта). Они меняются в зависимости от сезона, породы, возраста, продуктивности, уровня кормления и содержания. Для отечественных пород крупного рогатого скота зона нейтральности находится в диапазоне температур от 4 до 20 °С, для высокопродуктивных коров – от 9 до 16 °С. Так, снижение удоев при температуре воздуха в помещении 25 °С достигает 17 %, при температуре 30 °С – около 33 %, при 35 °С – около 56 %. Если за 100 % взять удой, полученный при температуре 10 °С, то в среднем потери молока при –5 °С составят 14 %, а при +5 °С – 5 % [3].

## Основная часть

Микроклиматом животноводческих помещений называется совокупность физических и химических факторов сформировавшейся внутри них воздушной среды. К важнейшим параметрам микроклимата относятся: температура и относительная влажность воздуха, скорость его движения, химический состав, а также наличие взвешенных частиц пыли и микроорганизмов. Важными факторами, влияющими на формирование микроклимата, являются также освещенность; температура внутренних поверхностей ограждающих конструкций, определяющая точку росы (точку выпадения конденсата); величина лучистого теплообмена между этими конструкциями и животными; ионизация воздуха и др. Зоотехнические и санитарно-гигиенические требования по содержанию крупного рогатого скота сводятся к тому, чтобы все показатели микроклимата в помещениях строго поддерживались в пределах, установленных комплексными нормами технологического проектирования новых, реконструкции и технического перевооружения существующих животноводческих объектов по производству молока, говядины и свинины (КНТП-1-2020) [4]. Эти нормы применяются с учетом технологических условий, они определяют допустимые изменения температуры, относительной влажности воздуха, скорости движения воздушных потоков, а также указывают предельно допустимое содержание в воздухе помещений вредных газов.

Типоразмерный ряд комплекта оборудования с системой формирования и поддержания микроклимата на молочно-товарных фермах и комплексах должен обеспечивать установленные нормы параметров внутреннего воздуха и требования к микроклимату животноводческих помещений.

Для формирования и поддержания оптимального температурно-влажностного режима на сегодняшний день в комплексе с вентиляцией необходимо использовать ряд дополнительных устройств. Одним из таких технологических вариантов является система охлаждения воздуха помещений туманом (мелкодисперсное орошение), которая является передовой и наиболее прогрессивной на мировом рынке оборудования по регулированию микроклимата.

Система туманного охлаждения – это линии с распылительными форсунками, установленные параллельно боковых стен помещения. С помощью насоса вода под высоким давлением проходит через форсунки, таким образом образуется высокодисперсный туман.

Существуют три основных типа систем мелкодисперсного орошения охлаждения:

- система низкого давления (7–14 бар) работает по принципу адиабатического охлаждения: снижает температуру воздуха за счет испарения воды, которая распыляется через форсунки низкого давления. В результате создаются крупные капли, которые попадают на шерсть и кожу животных;

- система высокого давления (28–41 бар) также работает по принципу адиабатического охлаждения. Однако она использует воду под высоким давлением. В результате создается мелкодисперсный туман. Он быстро испаряется в воздухе, забирая с собой тепло и снижая температуру на 5–8 °С. Такие системы не увлажняют шерсть и кожу животных и не способствуют развитию болезней;

- система сверхвысокого давления (48–69 бар) считается наиболее эффективной. Она создает сверхмелкодисперсный туман, который в результате испарения забирает с собой большое количество тепла. Такой эффект снижает температуру на 6–12 °С.

Использование системы туманообразования без системы вентиляции недопустимо. Использование систем туманообразования должно осуществляться под контролем средств автоматики, работающей с индексом ТНІ для достижения определенного показателя влажности.

Комплект оборудования предназначен для обеспечения оптимальных параметров температурно-влажностного режима в помещениях для содержания крупного рогатого скота от 200 до 1 200 голов на молочно-товарных фермах и комплексах.

Комплект оборудования изготавливается в следующих исполнениях:

- с системой капельного охлаждения помещения КОФМ-XXXX (рисунок 1);
- с системой туманного охлаждения помещения КОФМ-XXXТ (рисунок 2).

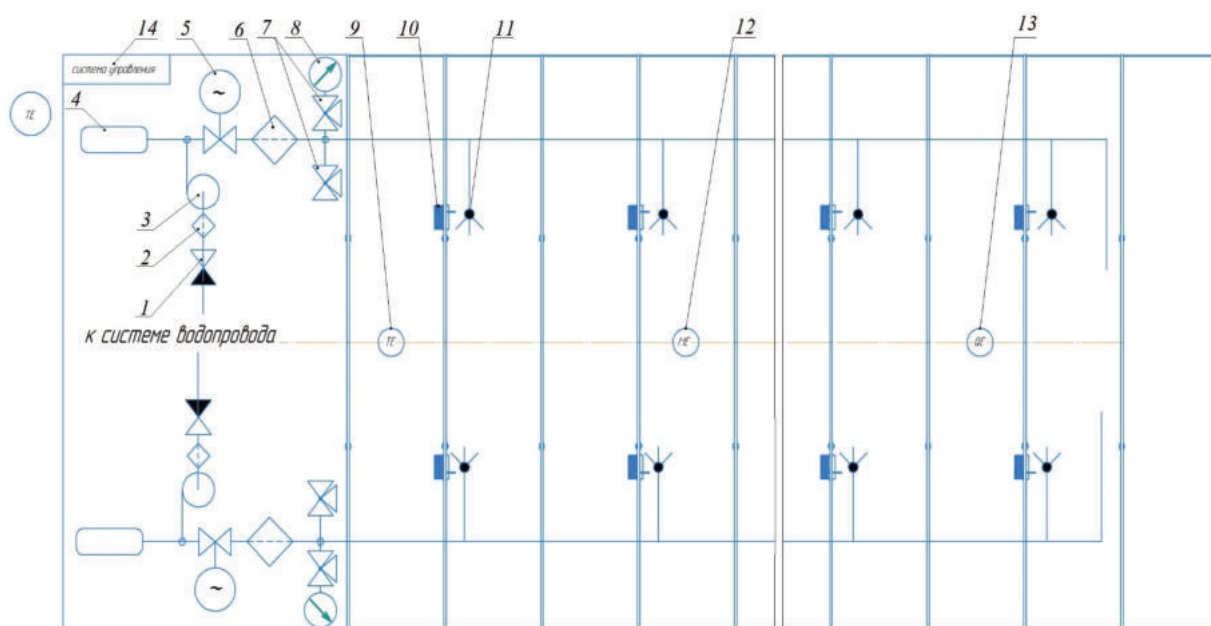


Рисунок 1 – Технологическая схема комплекта оборудования КОФМ-XXXX: 1 – обратный клапан; 2 – фильтр грубой очистки; 3 – центробежный насос; 4 – бак закрытый; 5 – электромеханический клапан; 6 – фильтр тонкой очистки; 7 – трехходовой клапан; 8 – манометр; 9 – вентилятор; 10 – форсунка; 11 – датчик температуры; 12 – датчик CO<sub>2</sub>; 13 – датчик влажности; 14 – система управления

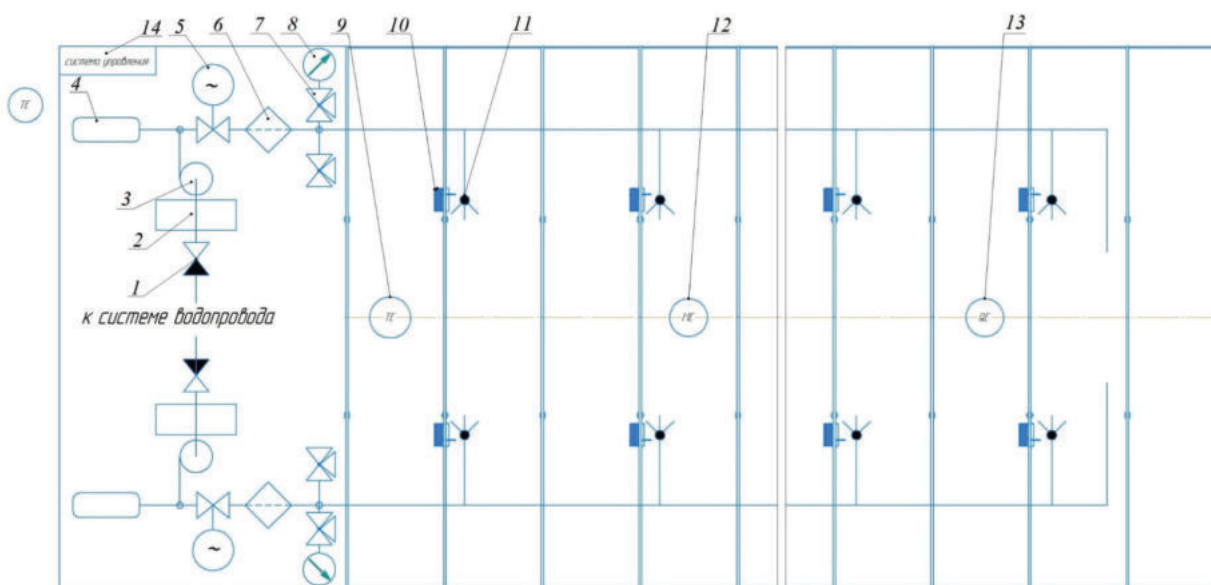


Рисунок 2 – Технологическая схема комплекта оборудования КОФМ-XXXT: 1 – обратный клапан; 2 – система водоподготовки; 3 – центробежный насос; 4 – бак закрытый; 5 – электромеханический клапан; 6 – фильтр тонкой очистки; 7 – трехходовой клапан; 8 – манометр; 9 – вентилятор; 10 – форсунка; 11 – датчик температуры; 12 – датчик CO<sub>2</sub>; 13 – датчик влажности; 14 – система управления

В ходе выполнения работ при разработке программной документации учтено:

- для обеспечения нормального микроклимата в коровнике необходимо установить соответствующую вентиляционную систему, которая будет обеспечивать правильный воздухообмен;
- необходимо соблюдать комфортный температурно-влажностный режим;
- необходимо обеспечить допустимый уровень содержания аммиака и углекислого газа.

На основе проведенных исследований и вышеуказанного при разработке программной документации на первоначальном этапе учтено:

– использование датчиков температуры воздуха внутри и вне помещения с целью включения вентиляционной системы в автоматическом режиме при достижении значения температуры воздуха выше предельно установленной величины;

– совместное использование датчиков температуры и влажности с целью комбинированного использования системы вентиляции и водяного охлаждения (капельного или мелкодисперсионного – тумана) в автоматическом режиме при достижении значения температуры воздуха выше предельно установленной величины, а также с целью обеспечения оптимального температурно-влажностного режима;

– использование датчиков контроля содержания аммиака и углекислого газа для контроля состояния воздушной среды с целью включения вентиляционной системы в автоматическом режиме при достижении предельно-допустимых концентраций.

### **Заключение**

Перемены в микроклимате могут серьезно отразиться на здоровье животных и снизить их продуктивность в среднем на 20–40 %. Особенно тяжело переносят такие перемены высокопродуктивные коровы и племенной скот. При этом, если говорить о температуре, вредны как очень низкие показатели, так и жара.

Обеспечение благоприятного микроклимата для здоровья и продуктивности животных, а также для сохранения строительных материалов и конструкций зданий осуществляется системами вентиляции. Необходимый воздухообмен зависит от живой массы, продуктивности животных и сезона года.

Для формирования и поддержания благоприятного температурно-влажностного режима на сегодняшний день оптимальным вариантом является система охлаждения воздуха помещений туманом (мелкодисперсионное орошение), которая является наиболее прогрессивной на мировом рынке оборудования по регулированию микроклимата.

На сегодняшний день на рынке отсутствуют отечественные системы управления микроклиматом, однако можно встретить зарубежные системы отечественной сборки с заимствованным программным обеспечением, что делает невозможным процесс интеграции в отечественную систему управления менеджментом стада, а также приводит к возникновению сложностей при обслуживании оборудования.

### **Список использованных источников**

1. Карташова, А. Н. К вопросу обеспечения оптимального микроклимата животноводческих помещений / А. Н. Карташова, М. И. Закревский // Ветеринарные и зооинженерные проблемы животноводства : материалы I Междунар. науч.-практ. конф., г. Витебск, 28–29 нояб. 1996 г. / Витебская государственная академия ветеринарной медицины. – Витебск. – 1996. – С. 183.
2. Куликова, Н. И. Новые технологические приемы формирования продуктивных и интерьерных показателей молочного скота : автореф. дис. д-ра с.-х. наук : 06.02.04 / Кубан. гос. аграрн. ун-т. – Краснодар, 2003. – 46 с.
3. Гигиенический контроль микроклимата в животноводческих помещениях : учеб.-метод. пособие для студентов по специальностям 1-74 03 02 «Ветеринарная медицина», 1-74 03 04 «Ветеринарная санитария и экспертиза» и слушателей ФПК и ПК / В. А. Медведский [и др.]. – Витебск : ВГАВМ, 2019. – 40 с.
4. Комплексные нормы технологического проектирования новых, реконструкции и технического перевооружения существующих животноводческих объектов по производству молока, говядины и свинины КНТП-1-2020. – Минск : Минсельхозпрод, 2021. – 122 с.



**А. Н. Перепечаев**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: pan-sl@yandex.ru*

## **НАУЧНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОПРОСОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕХАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ЛЬНА**

*Аннотация.* В статье приводится анализ обеспеченности льнозаводов техникой для возделывания, уборки, заготовки льна. Дается оценка состояния оборудования для первичной переработки льна, а также даны предложения по повышению рентабельности отрасли.

*Ключевые слова:* лен, агрегат, возделывание, уборка, посев, уборка льна, льнокомбайн, пресс-подборщик, оснащение техникой, первичная переработка льна, линия первичной переработки льна.

**A. N. Perepechaev**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: pan-sl@yandex.ru*

## **SCIENTIFIC ASSESSMENT OF THE STATE OF ISSUES AND PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF MECHANIZATION OF FLAX PRODUCTION PROCESSES**

*Abstract.* The article provides an analysis of the availability of flax plants with equipment for cultivation, harvesting, and harvesting flax. An assessment of the condition of the equipment for the primary processing of flax is given, as well as suggestions for improving the profitability of the industry.

*Keywords:* flax, aggregate, cultivation, harvesting, sowing, flax harvesting, flax combine, baler, equipment, primary flax processing, flax primary processing line.

### **Введение**

Лен – одна из важнейших технических культур. Возделывается он на волокно и масло. Волокно используется для изготовления разнообразных тканей как бытовых, так и технических. Получаемое из семян масло широко применяется в технических целях (олифа и другие лакокрасочные материалы), а также для приготовления пищевых продуктов. Отходы маслобойной промышленности – жмыхи, содержащие до 30 % белка и 12 % жира, являются питательным концентрированным кормом [1].

Для эффективной работы льноводческого комплекса Минсельхозпродом Республики Беларусь определены следующие целевые показатели: возделывание льна на площади не менее 55,0 тыс. га, из которых 30 % площадей – на семеноводческие цели, урожайность льноволокна – 12 ц/га, средний номер льнотресты – не ниже 1,25.

### **Основная часть**

В последние годы площадь возделывания льна-долгунца составляет 45–50 тыс. га, урожайность льнотресты – 2,9–3,1 т/га при среднем номере 0,9–1,1. В 2024 г. средняя урожайность льнотресты составляет 3,4 т/га при среднем номере 0,97 [2].

**Возделывание льна.** Для механизации процессов возделывания льна в настоящее время в республике созданы и производятся машины для обработки почвы и посева, внесения минеральных удобрений и ухода за посевами к тракторам различных тяговых классов, обеспечивающие требуемые качественные показатели выполнения технологического процесса, за исключением посевных машин.

Так, для посева льна в хозяйствах применяются посевные агрегаты с механической системой высева ВМРЗ-300 производства ОАО «Витебский мотороремонтный завод» и с пневматической системой высева АПП-6АБ-Л и АППМ-6Л производства ОАО «Брестский электромеханический завод», основными недостатками этих агрегатов являются неравномерное распределение семян по площади питания и глубине заделки, что снижает полевую всхожесть и урожайность льна на 10–20 %. Кроме того, агрегаты не обеспечивают одновременное внесение минеральных удобрений.

РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» совместно с ОАО «Оршаагропромаш» разработан почвообрабатывающий посевной агрегат АПЛ-4, совмещающий предпосевную подготовку почвы, высева семян льна ленточным способом и одновременное внесение гранулированных минеральных удобрений.

Проведенная ГУ «Белорусская МИС» сравнительная оценка посевов льна серийно выпускаемым агрегатом АППМ-6Л и опытным агрегатом АПЛ-4, показала, что урожайность льноволокна составила 5,3 т/га и 5,9 т/га соответственно, средний номер длинного волокна при одинаковом выходе волокна получен 11,0 и 11,5 соответственно. Фактически при использовании агрегата АПЛ-4 может быть получена дополнительная прибыль с 1 га в сумме 50–70 руб., что делает его окупаемым за 1,1–1,5 г.

Требуется оснащение льносеющих хозяйств данными агрегатами.

Кроме этого, с учетом производственных условий республики в 2024–2025 гг., необходимо разработать агрегат шириной захвата 6 м к тракторам класса 5. Разработка и внедрение агрегатов позволит полностью решить проблему качественного сева и обеспечить повышение урожайности волокна и семян на 1,5–1,7 и 0,3–0,5 ц/га соответственно.

**Уборка льна.** В республике уборка льна осуществляется двумя способами: на товарных посевах применяется раздельный (двухфазный) способ, а при уборке семенных посевов – комбайновый однофазный способ.

При раздельном способе уборки проводится теребление и расстил льносоломы без очеса семенных коробочек, используются самоходные двухпоточные теребилки ТСЛ-2,4 (ОАО «Щучинский ремзавод»), ЛТС-2 (ГП «Экспериментальный завод») или прицепные комбайны типа Двина-4А (ОАО «Калинковичский ремонтно-механический завод»), и самоходные КЛС-3,5 (ПО «Гомсельмаш») с отключенными очесывающими аппаратами. Для обмолачивания семенных коробочек в поле при раздельном способе уборки используется подборщик-очесыватель СОЛ-5 (ОАО «Калядичагромаш»).

Анализ работы самоходных теребилок показывает, что эффективность применения таких машин наступает при урожайности льнотресты не менее 4,5–5,0 т/га. При меньшей урожайности целесообразно применение двухпоточных теребильных машин прицепного или навесного типа в агрегате с тракторами класса 2, что позволит снизить эксплуатационные затраты при тереблении льна в 1,5–1,7 раза.

При комбайновой уборке льна-долгунца используются самоходные комбайны КЛС-3,5 и прицепные льнокомбайны типа Двина-4А, ЛК-4А в агрегате с прицепами 2-ПТС-4. При планируемых объемах возделывания льна потребность в комбайнах составляет 275 единиц.

Для снижения потерь семян льна и повышения производительности работ при уборке семеноводческих посевов требуется проведение модернизации прицепных комбайнов.

Для ускорения вылежки льносоломы, обеспечения однотипности волокна по цвету и повышения качества льнотресты в зависимости от урожайности проводят одно или двукратное оборачивание лент льна, для чего используются однопоточные оборачиватели лент льна ОЛЛ-1 (ГП «Экспериментальный завод»), ОСЛ-1 (ДП «Щучинский ремонтный завод») и двухпоточные GE 240 (ОАО «Лидагропромаш») или аналоги. Оборачивание является обязательным приемом за один день перед началом подъема тресты.

Потребность в данном виде техники составляет порядка 390 единиц. Для получения высокономерной тресты на полях с урожайностью льносоломы более 3,5 т/га требуется применение данных машин. Необходимо обеспечить полную технологическую потребность машин и уделить внимание вопросам снижения их стоимости.

При длительном выпадении осадков для просушивания льнотресты при урожайности льнотресты до 2,5 т/га, а также непосредственно перед прессованием ее в рулоны необходимо проводить впуски лент. Впускание проводится впускателями ВЛК-3, ВЛН-4,5 (ОАО «УКХ «БобруйскАгроМаш»), ВВЛ-3 (ОАО «Калинковичский ремонтно-механический завод») или аналогами. РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» совместно с ОАО «Калинковичский РМЗ» разработана и выпускается ворошилка-впускатель лент льна, адаптированная к работе на лентах с шириной теребления 1,2–1,5 м. Потребность в новых машинах – не менее 200 единиц.

Уборку лент льнотресты проводят в основном прицепными пресс-подборщиками ПРЛ-150, ПРЛ-150А, ППЛ-1 (ОАО «УКХ «БобруйскАгроМаш») или зарубежными аналогами.

Для обеспечения своевременной заготовки льнотресты требуется не менее 740 пресс-подборщиков, из них самоходных – не менее 180 единиц. Для загрузки высокопроизводительных линий рулонирование льнотресты должно проводиться пресс-подборщиками с системой оперативного управления рабочим процессом, а их наличие должно составлять не менее 450 единиц. Фактическая обеспеченность ими в настоящее время составляет 27 %.

Основным недостатком применяемых самоходных пресс-подборщиков является их высокая стоимость. РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» совместно с ОАО «Калинковичский ремонтно-механический завод» разработан отечественный самоходный пресс-подборщик льна ПЛС-1.

Потребность в льноуборочной технике по состоянию на 1 июля 2024 г. составляет: льнотеребилки – 66 %; льнокомбайны – 105 %; подборщики-очесыватели – 76 %; оборачиватели лент льна – 60 %; пресс-подборщики прицепные – 99 %; пресс-подборщики самоходные – 41 %; впускатели лент льна – 56 %.

**Первичная переработка льна.** Реконструкция и техническое перевооружение льнозаводов – одна из важнейших задач для эффективного функционирования льноводческой отрасли. Льнозаводы должны располагать современными технологиями производства, доработки и упаковки льнопродукции с учетом запроса рынка. Однако из-за низкого качества заготавливаемой льнотресты, недостаточной технической оснащенности и физического износа оборудования по первичной переработке льна, производится и льноволокно низкого качества.

Большинство линий по выработке длинного льноволокна имеют срок эксплуатации свыше 20 лет, тогда как нормативный срок службы составляет 9–10 лет. Модернизация отечественных льнозаводов в 2000–2010 гг. шла по пути приобретения российских линий МТА-2Л, которые считаются модернизированными, однако в своей основе включают машины, разработанные еще в 70-е гг. прошлого века.

Приобретенные республикой современные линии (бельгийские линии Van Dommele engineering, Depoortere) по производству длинного льноволокна не обеспечены под полную загрузку мощностей высококачественной льнотрестой.

Одновременно льноперерабатывающие предприятия не имеют необходимого количества специализированных хранилищ для сырья (шоха), а те, которые есть, способны вместить лишь не более 50 тыс. т льнотресты или не более одной пятой планового объема.

На большинстве льнозаводов льнотреста хранится в скирдах и стогах под постоянным воздействием атмосферных факторов, что снижает качество вырабатываемого льноволокна на 0,25–0,50 номера и резко уменьшает удельный выход длинного волокна.

Поэтому эффективность работы линий выработки длинного волокна может быть обеспечена только в случае повышения качества льнотресты.

### **Выводы и предложения**

Применяемый в республике парк машин для основной и предпосевной подготовки почвы, внесения удобрений, посева и ухода за посевами, уборки льна в основном сформирован, но требует дальнейшего совершенствования. Вместе с тем практически по всем позициям наблюдается недостаток техники, что в свою очередь ведет к срывам своевременной уборки льна.

В целях снижения себестоимости конечной продукции льняной отрасли, наряду с сокращением объемов низкачественного сырья за счет интенсификации уборки льна, необходимо приступить к разработке новых направлений его использования (сфер применения), а также технологий и оборудования, соответствующих им, а именно:

- изменить технологию для тресты № 0,50–0,75 (ежегодные объемы составляют до 50 % всех заготовок), на основе технического переоснащения выработки волокна, что позволит снизить на 25–35 % себестоимость обработки;

- рационально использовать вторичное сырье (в отрасли при обработке тресты образуется до 100 тыс. т костры и до 20 тыс. т грунта в виде растительных остатков и распыленной почвы);

- выпускать изделия производственного назначения, например, шпагат для заготовки льна в рулонах, ежегодная отраслевая потребность в котором составляет 400–500 т (использование полипропилена для этих целей при всей его технологичности в сельскохозяйственном производстве нецелесообразно, поскольку создает проблемы на стадиях выхода волокна и технологии производства тканей);

- установить новое куделеприготовительное оборудование на технологических линиях льнозаводов, обеспечивающее доочистку и упаковку короткого волокна до стандартов (закостренность не может превышать 2–3 %, а кипы должны формироваться массой 120–130 кг);

- разработать и внедрить в производство отечественную линию выработки длинного льноволокна, приспособленную для переработки льнотресты, выращенной в условиях республики.

#### **Список использованных источников**

1. Ярошевич, А. А. Механизация возделывания и уборки льна / А. А. Ярошевич, Т. П. Голимский. – Минск : Урожай, 1966. – 144 с.
2. Урожай льна в этом году прогнозируется на 20 процентов выше прошлогоднего. – Минск, 1998–2024. – URL: <https://www.sb.by/articles/nauka-predpolagaet-praktika-podtverzhdaet.html> (дата обращения: 10.10.2024).



**И. С. Пылило, С. П. Колешко**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: fragment-ip@yandex.by*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ УБОРКЕ ЛЬНОТРЕСТЫ**

*Аннотация.* В статье рассмотрена возможность применения цифровых технологий при уборке льнотресты рулонным методом.

*Ключевые слова:* треста льняная, качество льнотресты, подъем льнотресты, камера, переработка, автоматизация процесса.

**I. S. Pylilo, S. P. Koleshko**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: fragment-ip@yandex.by*

## **THE USE OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE CLEANING OF FLAX**

*Abstract.* The possibility of using digital technologies for cleaning flax by the roll method is considered.

*Keywords:* linen trust, quality of flax, lifting of flax, chamber, processing, automation of the process.

### **Введение**

Развитию льняного комплекса в Республике Беларусь уделяется особое внимание. Это обусловлено необходимостью обеспечения качественным сырьем предприятий текстильной промышленности, которые должны производить широкий ассортимент конкурентоспособных изделий бытового и технического назначения. Для повышения эффективности льняной отрасли Правительством совместно с облисполкомами реализуется утвержденный в 2021 г. план мероприятий на 2021–2025 гг., предусматривающий научное сопровождение с максимальным внедрением в производство прогрессивных агротехнических приемов, способствующих повышению урожайности льнотресты и ее качества [1].

### **Основная часть**

В настоящее время в Беларуси, как и в других странах, занимающихся выращиванием льна, основным способом заготовки льнотресты является рулонная технология уборки. Для этих целей используются рулонные пресс-подборщики – как прицепные, так и самоходные. Заготовка льнотресты в рулоны позволила полностью механизировать уборку льна-долгунца. В результате при выполнении данной технологической операции существенно повысилась производительность уборочных работ, сократились затраты труда, возросла сохранность выращенного урожая.

На льнозаводах республики установлено технологическое оборудование российского и бельгийского производства. Семь льнозаводов оснащены высокопроизводительными линиями переработки льнотресты бельгийской фирмы Depoortere и на двух льнозаводах установлены линии фирмы Van Dommele engineering. Эти линии способны обеспечить высокую производительность по пропуску льнотресты до 2 000 кг/ч. Однако такая производительность достигается только при определенной величине линейной плотности слоя льнотресты, по расчетам составляющей 2–3 кг/м.п. Как показывает опыт эксплуатации этих линий в течение ряда лет фактическая средняя годовая их производительность в республике составляет 1 100–1 500 кг/ч, или 55–75 % от возможного. Причиной этого является недостаточная линейная плотность стеблей в ленте [2].

Основной машиной для заготовки льнотресты в рулоны является пресс-подборщик с переменной камерой прессования. Такая камера прессования, в отличие от постоянной камеры, позволяет сформировать рулон с четким разделением слоев за счет внутренней прокладки обвязочного материала. Кроме этого, изменение объема прессовальной камеры обеспечивает формирование рулонных покровов с постоянной плотностью как в сердцевине покровки, так и сверху. Формирование слоя льнотресты в рулоне требуемой линейной плотности обеспечивается в процессе движения агрегата при подборе исходной ленты, которая непостоянна и может изменяться в широких диапазонах. Для формирования ленты льна в рулоне необходимой плотности конструкции пресс-подборщиков должны обеспечивать изменения режимов работы подбирающего механизма и прессовальной камеры. В то же время в прицепных пресс-подборщиках с механическим приводом изменение скорости подбирающего барабана и скорости прессовальных ремней весьма затруднительно, так как требуется переустановка сменных приводных звездочек. Повысить линейную плотность ленты льна в рулоне в определенных пределах можно увеличением рабочей скорости трактора, которая ограничена работоспособностью подбирающего барабана и нагрузкой на подбирающие пальцы. Необоснованное увеличение скорости движения приводит к нарушению агротехнических требований процесса заготовки льнотресты в рулоны. В свою очередь, это ведет к потере длинного волокна при переработке льнотресты на стационарных линиях, к снижению их производительности, увеличению энергозатрат.

Частично эту проблему решают пресс-подборщики, оборудованные гидроприводом рабочих органов с автоматизацией рабочего процесса. В то же время предлагаемые технические решения не могут в полной мере справиться с проблемой формирования слоя льнотресты в рулоне постоянной плотности, т. к. не учитывают неравномерность урожайности льна по площади поля.

Поэтому для повышения линейной плотности ленты льна в рулоне разработано и изготовлено устройство для формирования плотности льнотресты УФПЛ, которое установлено на самоходном пресс-подборщике ПЛС-1.

Принцип работы устройства для формирования плотности льнотресты УФПЛ (рисунок 1) заключается в следующем: опорная лыжа перемещается в вертикальной плоскости и копирует



Рисунок 1 – Устройство для формирования плотности льнотресты, установленное на пресс-подборщике ПЛС-1:

1 – кронштейны; 2 – прижим; 3 – тяги; 4 – опорная лыжа; 5 – линейный потенциометр;

6 – программируемая панель; 7 – модуль аналогового вывода

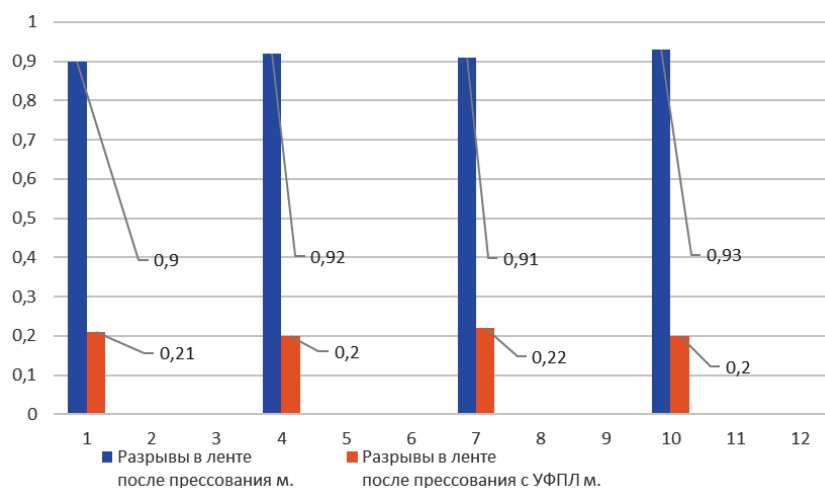


Рисунок 2 – График изменения разрывов в ленте с применением макетного образца УФПЛ и без него

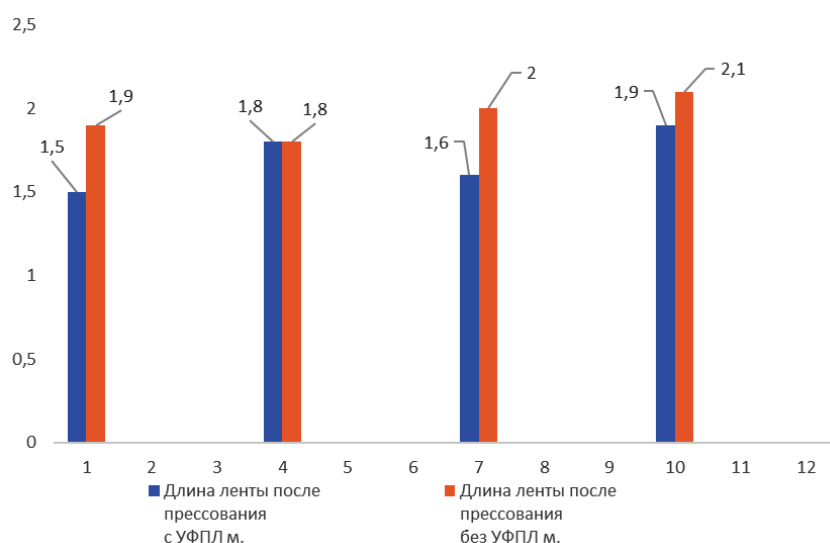


Рисунок 3 – График изменения длины ленты с применением макетного образца УФПЛ и без него

ленту льна, информация об изменении ее толщины отслеживается датчиком и передается на модуль аналогового вывода, который впоследствии передает управляющий сигнал к гидромотору пресс-камеры, изменяя ее скоростные режимы работы, для создания требуемой плотности слоя льна. Изменение требуемых настроек при работе УФПЛ производится программируемой панелью оператора.

При выполнении экспериментальных исследований устройства УФПЛ были получены следующие результаты по сравнению с ПЛС-1 без устройства: равномерность формирования плотности ленты льна увеличилась на 5 %, отклонение фактической линейной плотности ленты льна от заданной уменьшилась на 15 %, средняя плотность ленты в рулоне увеличилась на 0,112 кг/м.п. или на 4 %, кроме того, применение разработанного устройства позволит практически полностью исключить разрывы в ленте льна.

Получен график изменения разрывов в ленте после прессования с применением макетного образца УФПЛ и без него (рисунок 2).

Из графика видно, что с применением макетного образца УФПЛ после прессования разрывы в ленте уменьшаются в 4,5 раза.

Построен график изменения длины ленты после прессования с применением макетного образца УФПЛ и без него (рисунок 3).

Из графика видно, что с применением макетного образца УФПЛ после прессования длина ленты уменьшилась. Общая длина ленты после прессования с применением макетного образца УФПЛ составила 6,8 м, а без макетного образца составила 7,8 м.

### **Заключение**

Применение автоматизированного устройства для формирования плотности льнотресты позволяет увеличить равномерность формирования плотности ленты льна на 5 %, уменьшить отклонение фактической линейной плотности ленты льна от заданной на 15 %, увеличить среднюю плотность ленты в рулоне на 0,112 кг/м.п. или на 4 %, кроме того, применение разработанного устройства позволит практически полностью исключить разрывы в ленте льна.

### **Список использованных источников**

1. Комплексный бизнес-план развития льняной отрасли Республики Беларусь на 2011–2015 гг. Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. – Минск, 2010. – 160 с.
2. Казакевич, П. П. Льноводство и льнопереработка в Беларуси: проблемы развития / П. П. Казакевич // Белорусское сельское хозяйство. – 2010. – № 7 (99).



**И. С. Пылило, С. П. Колешко**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: fragment-ip@yandex.by*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ЛЬНОТРЕСТЫ**

*Аннотация.* Рассмотрена возможность применения цифровых технологий при переработке льнотресты.

*Ключевые слова:* треста льняная, качество льнотресты, подъем льнотресты, камера, переработка, автоматизация процесса.

**I. S. Pylilo, S. P. Koleshko**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: fragment-ip@yandex.by*

## **THE USE OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN THE PROCESSING OF FLAX**

*Abstract.* The possibility of using digital technologies in the processing of flax is considered.

*Keywords:* linen trust, quality of flax, lifting of flax, chamber, processing, automation of the process.

### **Введение**

В первичной переработке льна приоритетными являются задачи повышения выхода и качества длинного и короткого льноволокна. Анализ технико-экономических показателей работы льнозаводов республики показывает, что эти показатели практически для всех льнозаводов не достигают их нормативных значений. В результате чего предприятия недополучают значительные объемы выручки [1].

Пути решения этих проблем – совершенствование существующих и разработка новых технологических приемов и оборудования, а также автоматизация контроля и управления режимами работы существующего технологического оборудования на льнозаводах. Первый путь решения позволяет вывести технологию и оборудование на более высокий уровень, но при этом он достаточно долговременный и сопряжен с высокими трудовыми и финансовыми затратами.

### **Основная часть**

Автоматизация технологического процесса позволит более оперативно реагировать на изменяющиеся свойства льнотресты, повысить точность определения и настройки оптимальных режимов работы оборудования. Системы автоматического управления могут применяться в комплексе с действующим технологическим оборудованием по переработке льнотресты, что ускорит процесс модернизации.

Автоматизированная система должна обеспечивать оперативное управление технологическим процессом производства длинного волокна на всех его этапах.

Для ее создания необходимы исследования по разработке методов и приборов для осуществления непрерывного контроля свойств льнотресты и структурных параметров слоя, что позволит создать автоматизированную систему управления режимами обработки льняной тресты, решить задачу оперативного управления режимами переработки льнотресты и, в конечном итоге, повысить выход длинного волокна, что является актуальной задачей для обеспечения отечественной текстильной промышленности этим сырьем.

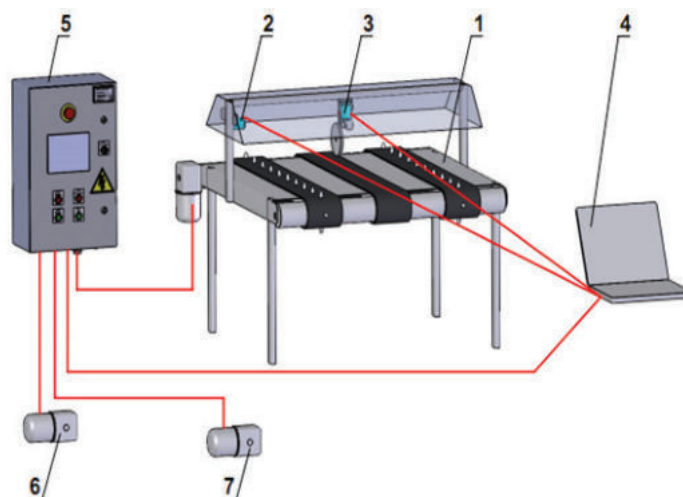


Рисунок 1 – Схема макетного образца системы управления технологическим процессом переработки льнотресты: 1 – стол конвейерный; 2 – видеокамера определения цвета льнотресты; 3 – видеокамера определения толщины слоя; 4 – компьютер с программным обеспечением; 5 – электрооборудование; 6 – привод трепальных барабанов; 7 – привод регулирования слоеформирующей машины

Для автоматического контроля толщины слоя, а также контроля цвета тресты по ранее обдуманному способу лабораторией РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» была предложена схема экспериментальной установки (рисунок 1). Для более полноценного функционирования схема дополнена конкретными элементами контроля, обработки информации и управления параметрами рабочих органов.

Установка работает следующим образом. Слой льнотресты перемещается крайними лентами с колками конвейерного стола. При его перемещении производится съемка поверхности слоя льнотресты видеокамерой. Через заданные промежутки времени производится захват кадров, после чего фото обрабатываются компьютерной программой, при этом определяется цвет тресты в комлевом и вершинном участках слоя. По цвету льнотресты рассчитывается показатель отделимости, на основании которого определяются частота вращения трепальных барабанов. Значение частоты вращения через контроллер передается на преобразователь частоты переменного тока электродвигателя трепальных барабанов, изменяя частоту их вращения. После прохода видеокамеры, происходит замер толщины ленты льнотресты.

Опорное колесо перемещается в вертикальной плоскости и копирует ленту льна. Информация об изменении ее толщины передается через датчик толщины ленты 1 на компьютер с программным обеспечением, который рассчитывает толщину слоя, сравнивая значение с предыдущим измерением. В случае превышения разности значений допустимой величины, подается сигнал на контроллер о перемещении полозков слоеформирующей машины в ту или иную сторону на заданную величину.

Ход проведения испытаний представлен на рисунке 2.

Общий вид компьютера с программным обеспечением представлен на рисунке 3.

Программное обеспечение выполнено в программе «Microsoft Visual Studio».

Рабочий экран программного обеспечения представлен на рисунке 4.

В верхней части программного обеспечения происходит отображение слоя льнотресты в текущем состоянии, в нижней части отображается фото образца, с которым наиболее совпадает текущий слой с указанием точности совпадения.

Загрузка образцов происходит через меню Config/Samples (рисунок 5).

В качестве образцов были загружены натуральные цветные эталоны льняного волокна (ГОСТ 2975-73) [2].

На рисунке 6 представлена экспериментальная зависимость значений цветовых координат системы цвета RGB от усредненного по ширине слоя значения показателя отделимости.



Рисунок 2 – Проведение испытаний автоматизированной системы управления технологическим процессом переработки льнотресты



Рисунок 3 – Компьютер с программным обеспечением

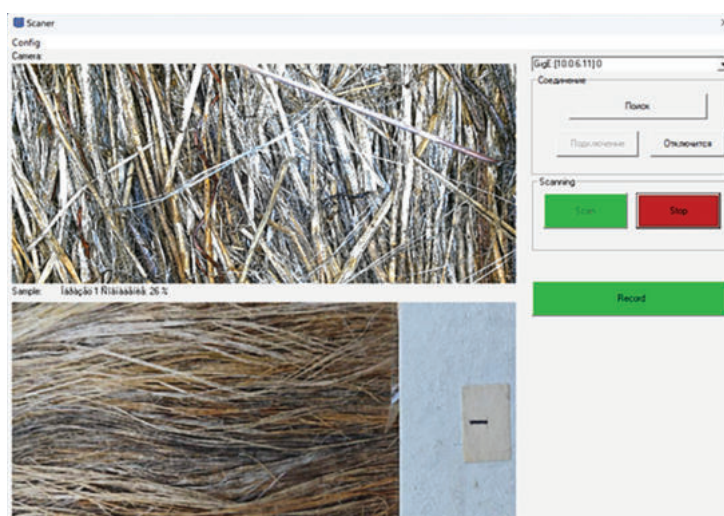


Рисунок 4 – Рабочий экран программного обеспечения



Рисунок 5 – Меню загрузки образцов

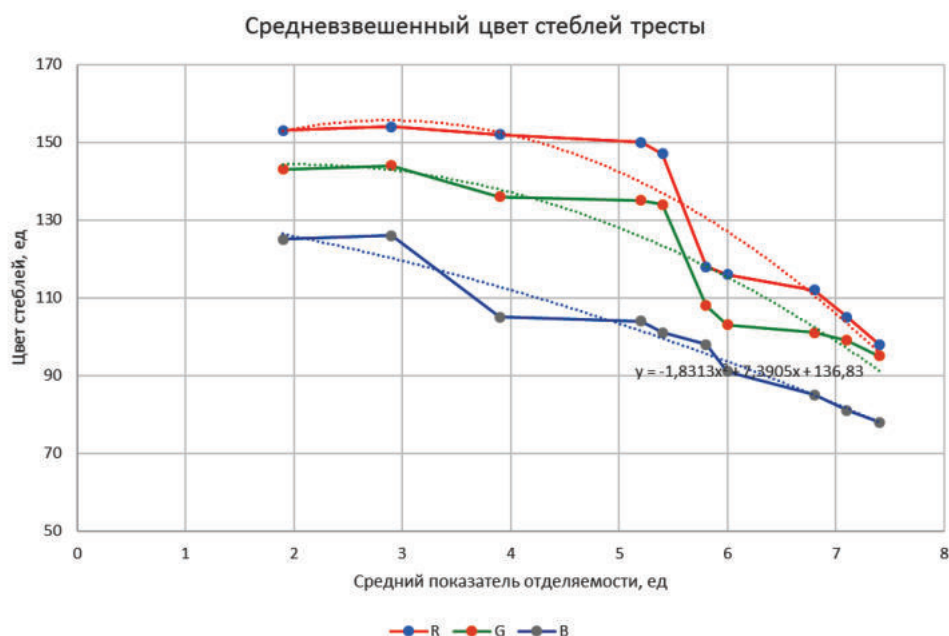


Рисунок 6 – Зависимость между показателем отделяемости и цветовыми координатами слоя стеблей льнотресты

Установлено, что технологические свойства тресты широко варьируются. Вследствие периодического характера варьирования свойств слоя сырья необходима оперативная регулировка режима работы МТА, направленная на выбор соответствующего режима обработки сырья с текущими технологическими показателями качества. Предлагается методика оперативного видеоконтроля варьирования технологических свойств льнотресты и выбор соответствующего режима работы МТА по результатам анализа данных видеоконтроля. Режим обработки льнотресты устанавливается по степени ее вылежки или по показателю отделяемости стеблей льнотресты, так как данный показатель характеризует возможность отделения волокнистых комплексов от древесины стеблей при влажности сырья 15...20 %. Автоматический контроль показателя отделяемости осуществляется непосредственно в технологическом процессе получения длинного льноволокна. В основе данного метода контроля лежит зависимость цветовых характеристик стеблей слоя перерабатываемой тресты от степени вылежки.

### **Заключение**

Проведенные исследования подтвердили возможность определения технологического показателя отделяемости с достаточной точностью при помощи обработки видеоизображения движущегося в технологическом потоке слоя стеблей льнотресты. Следовательно, применение автоматизированной системы управления технологическим процессом переработки льнотресты на производстве является актуальной и рентабельной.

### **Список использованных источников**

1. Казакевич, П. П. Льноводство и льнопереработка в Беларуси: проблемы развития / П. П. Казакевич // Белорусское сельское хозяйство. – 2010. – № 7 (99).
2. Треста льняная. Технические условия : ГОСТ 2975-73 ; введ. 01.01.73. – М. : Издательство стандартов, 1981. – 18 с.



**П. П. Бегун, В. В. Микульский**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: mehposev@mail.ru*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАТКОВЫХ И РЫХЛИТЕЛЬНЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ПОДГОТОВКИ ПОЧВЫ**

*Аннотация.* В статье представлены результаты экспериментальных исследований катковых и рыхлительных рабочих органов для предпосевной обработки почвы под посев мелкосемянных культур.

*Ключевые слова:* предпосевная обработка почвы, мелкосемянные культуры, рабочие органы, волнистый диск, каток.

**P. P. Behun, V. V. Mikulski**

*SUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
e-mail: mehposev@mail.ru*

## **EXPERIMENTAL RESEARCH OF ROLLER AND RIPPER WORKING ENGINES FOR PRE-SEEDING SOIL PREPARATION**

*Abstract.* The article presents the results of experimental studies of roller and loosening working bodies for pre-sowing tillage of soil for sowing small-seeded crops.

*Keywords:* pre-sowing tillage, small-seeded crops, working bodies, wavy disk, roller.

### **Введение**

В результате проведенных теоретических исследований обоснованы конструктивно-технологические параметры предлагаемых рабочих органов для предпосевной подготовки почвы под посев мелкосемянных культур в виде волнистого диска с радиальными волнами и кольчато-пластинчатых катков. При этом отсутствуют научные основы для выбора наилучшего их типа, оптимальных конструктивных и кинематических параметров работы.

В связи с этим проведение экспериментальных исследований с целью уточнения их рациональных конструктивно-кинематических параметров, обеспечивающих качественную подготовку поля под посев мелкосемянных культур, является актуальной научно-технической задачей.

### **Основная часть**

Для проведения экспериментальных исследований была изготовлена экспериментальная установка с набором катковых и рыхлительных рабочих органов [1]. Она представляет собой две сварные полурамы, закрепленные между собой скобами и опирающиеся на опорные, регулируемые колеса, благодаря чему имеет возможность изменять глубину обработки почвы волнистыми дисками и плотность посевного ложа прикатывающими катками. На одной полураме в два ряда устанавливается блок дисковых рабочих органов, с возможностью изменения следующих параметров: межосевого расстояния между рядами с дисковыми рабочими органами; расстояния между дисковыми рабочими органами в ряду. На другой – блок катковых рабочих органов с аналогичным изменением параметров их расстановки (рисунок 1).

Катки изготовлены различного диаметра (550, 500, 450 мм) и с различным количеством уплотняющих пластин на них (17, 16, 15 штук) соответственно. Рыхлительные рабочие органы,



Рисунок 1 – Экспериментальная установка с набором катковых и рыхлительных рабочих органов

представляющие собой волнистые диски с радиально расположенными волнами, были приобретены для исследований различного диаметра, они имеют различное количество волн и различную ширину волны.

### Результаты исследований

*Влияние наклона пластин на плотность почвы.* Результаты экспериментальных исследований по влиянию наклона уплотняющих пластин на плотность посевного ложа при различных диаметрах катка представлены на графике (рисунок 2). Скорость движения агрегата была принята 10 км/ч.

Из графика видно, что с увеличением угла наклона пластин  $\beta$  на катке плотность почвы  $D_v$  в посевном слое на глубине 2–3 см начинает постепенно снижаться. Причем данное снижение характерно и пропорционально всем трем диаметрам исследуемых катков. Данный факт объясняется тем, что наклон пластин ведет к изменению пятна контакта пластины с обрабатываемой поверхностью и изменению зон уплотнения почвы, постепенно смещающихся в более глубокие слои свыше 3 см, что для мелкосемянных культур недопустимо.

Также из графика видно, что диаметр катка оказывает некоторое влияние на плотность сложения почвы. Чем больше диаметр, тем выше плотность почвы, вследствие увеличения массы катка. Поэтому для дальнейших исследований в целях сокращения количества опытов будем использовать средний диаметр катка, равный 500 мм.

Следует отметить, что при постоянной скорости движения агрегата при вращении катков малого диаметра их угловая скорость увеличивается, так как возрастают силы инерции почвы, вследствие чего почва увлекается пластинами катка и, осыпаясь, создает на поверхности поля некоторый мульчирующий слой. Причем, чем больше угол наклона пластин, тем выше этот слой. С увеличением диаметра катка происходит снижение влияния центробежных сил инерции, что ведет к уменьшению мульчирующего слоя на поверхности почвы.

Поэтому в дальнейших исследованиях устанавливали угол наклона уплотняющих пластин 25°. При таком угле наклона обеспечивается необходимая плотность посевного слоя на всех исследуемых катках и создается необходимый мульчирующий поверхностный слой, препятствующий быстрому испарению влаги.

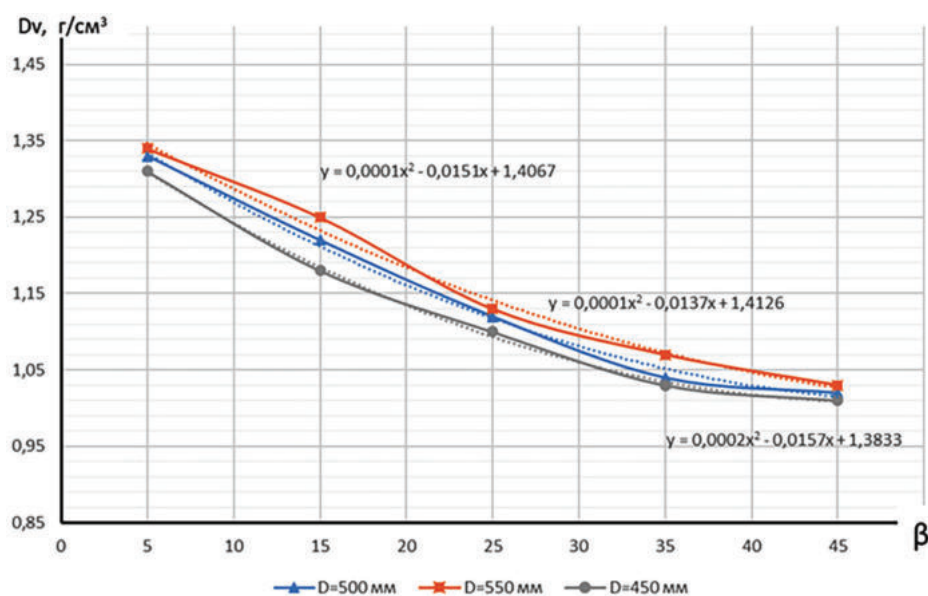


Рисунок 2 – Зависимость изменения плотности почвы в посевном слое от угла наклона пластин

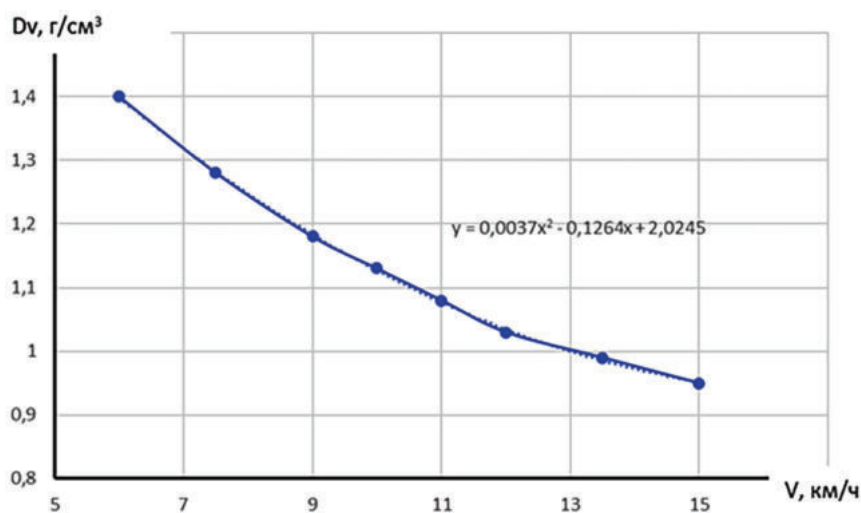


Рисунок 3 – Зависимость уплотнения почвы катком от скорости движения агрегата

*Влияние скоростных характеристик агрегата на плотность формирования посевного ложа.* Агротехническими нормами установлена скорость движения агрегата при прикатывании почвы кольчато-шпоровыми катками в пределах от 8 до 12 км/ч. В связи с этим, при проведении экспериментальных исследований диапазон рабочих скоростей агрегата изменяли в пределах от 5 до 15 км/ч для получения более наглядных и достоверных результатов исследований.

График изменения плотности почвы  $Dv$  в зависимости от скорости движения  $V$  агрегата представлен на рисунке 3. Угол наклона уплотняющих пластин принят  $25^\circ$ , а диаметр прикатывающего катка – 500 мм.

Анализ графической зависимости, произведенный на основании экспериментальных данных изменения плотности почвы от скорости движения трактора, позволяет сказать, что увеличение скорости агрегата приводит к снижению плотности почвы. Причем на малых скоростях движения 6–7 км/ч, плотность почвы несколько выше агротехнически допустимого предела для мелкосемянных культур. Далее с 7 до 11 км/ч ее плотность, с точки зрения агротехники является оптимальной. Дальнейшее увеличение скорости агрегата с 11 до 15 км/ч ведет к снижению плотности почвы в посевном слое ниже допустимых значений. Такой характер снижения плотности

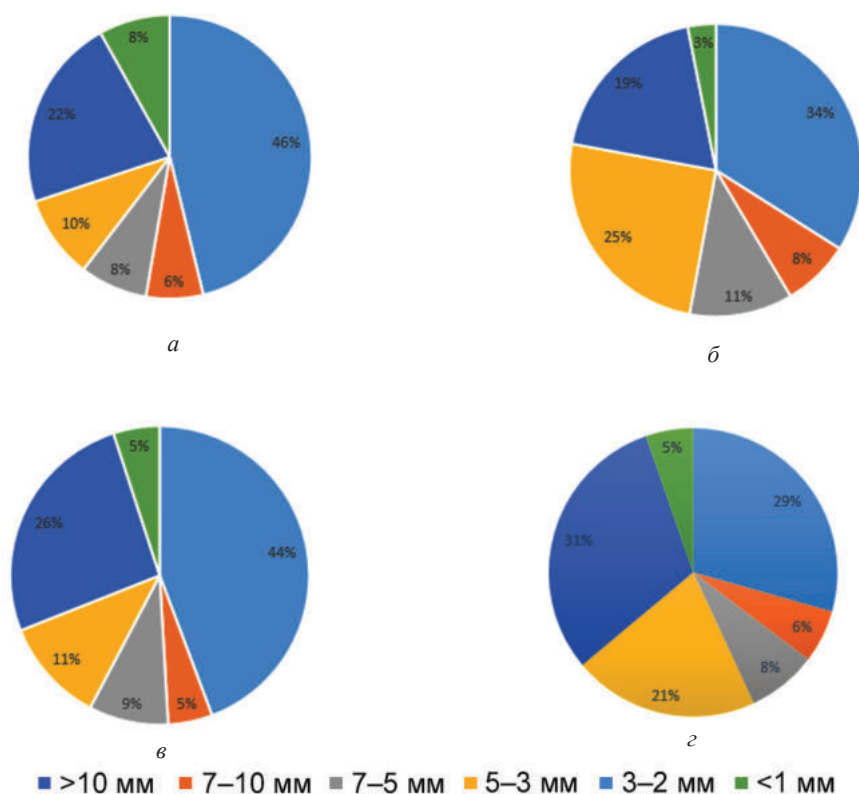


Рисунок 4 – Структурный состав поверхностного слоя почвы при различном расстоянии расстановки катков на валу: а – до обработки; б – расстояние расстановки 250 мм; в – расстояние расстановки 225 мм; г – расстояние расстановки 200 мм

обусловлен уменьшением времени воздействия уплотняющих пластин на почву, т. е. почва не успевает уплотниться и происходит ее релаксация.

Значительное влияние на расхождение параметров плотности почвы оказывает влажность почвенных образцов – при оптимальной влажности почвы 20,0 % значения действительной и измеренной плотности почвы имеют расхождения не более 1,5 %.

*Влияние расстановки катковых рабочих органов на структурный состав и гребнистость поверхности поля.* Структура является фундаментальной характеристикой почвы, так как от нее зависят экологические и продуктивные функции почвы [2]. В результате проведенных исследований установлено, что структурно-агрегатный состав почвы изменялся в зависимости от расстояния расстановки катковых рабочих органов на оси. Сравнительная оценка структурного состава почвы при различных расстояниях установки катков относительно друг друга представлена на диаграммах (рисунок 4).

До обработки в поверхностном слое на глубине до 10 см преобладала глыбистая структура (почвенные агрегаты более 10 мм) – 46 %. После прохода экспериментальной установки с катковыми рабочими органами процентное содержание почвенных агрегатов более 10 мм заметно начало снижаться (с 46 % до 29 %), особенно с уменьшением расстояния между катками. При этом наблюдалось полное отсутствие комков почвы размером более 50 мм. Данный факт объясняется тем, что при более плотном расположении катков друг к другу, обеспечивается более полный (без пропусков) контакт уплотняющих пластин на катке с обрабатываемой поверхностью поля. Почти половину всего объема пробы стали занимать агрегаты размером 2–5 мм. Таким образом, условие, установленное В. В. Медведевым (размер преобладающих почвенных агрегатов в посевном слое почвы должен приблизительно соответствовать размеру высеваемых семян), выполняется [3].

Хорошая выровненность поля особенно актуальна при подготовке почвы к посеву мелкосемянных культур. В процессе экспериментальных исследований катковых рабочих органов наблюдалась лучшая выровненность поверхности поля при уменьшении межкосового расстояния  $L$

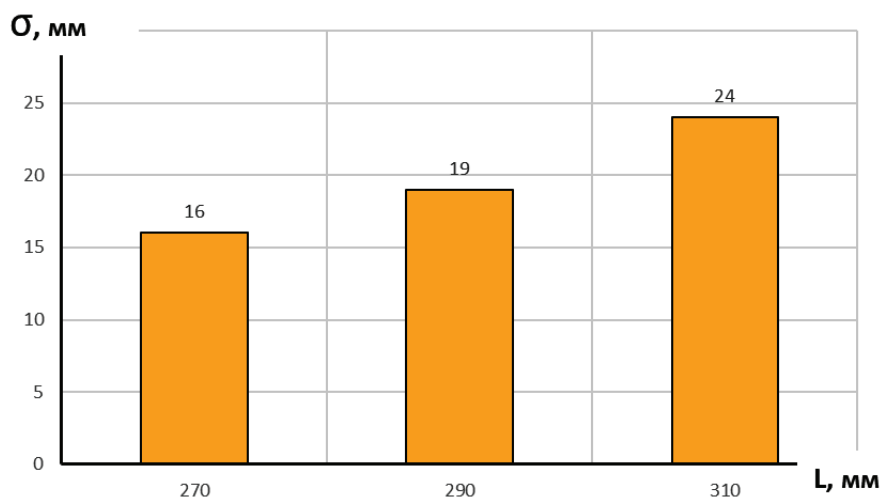


Рисунок 5 – Изменение гребнистости почвы в зависимости от различного межрядового расстояния между катками

между катками. С увеличением этого расстояния гребнистость поверхности поля увеличивалась до определенного значения и далее оставалась неизменной (рисунок 5). Таким образом, наименьшее среднее квадратическое отклонение  $\sigma$  неровностей поверхности поля после обработки катком составляло 16–17 мм при межрядовом расстоянии  $L$  между валами, на которых установлены катки, равном 270 мм.

Увеличение гребнистости с увеличением межрядового расстояния обусловлено отсутствием подпора почвы смежными катками, в результате чего часть почвы при работе катка выдавливается в сторону, образуя гребень.

*Влияние расстановки волнистых дисков на качество обработки почвы.* С целью определения влияния шага расстановки волнистых дисков на валах экспериментальной установки на агротехнические показатели предпосевной обработки почвы проводились экспериментальные исследования на различных скоростях движения (от 8 до 12 км/ч). Исследованию подвергались диски с различными конструктивными параметрами (см. таблицу).

**Конструктивные параметры исследуемых волнистых дисков**

Рабочие органы	Конструктивные параметры волнистого диска			
	Диаметр диска $d$ , мм	Количество волн $n$ , шт.	Ширина диска $B$ , мм	Толщина диска, мм
1	500	12	20	4
2	510	8	50	5
3	550	8	60	5

Согласно агротехническим требованиям, предъявляемым к предпосевной обработке почвы, крошение комков до размера менее 25 мм должно составлять не менее 80 %. При фоновой обработке до начала исследований этот показатель составлял 66,7 %.

В ходе проведения исследований были получены результаты, по которым построены диаграммы, характеризующие влияние расстановки волнистых дисков на валах экспериментальной установки на качественные показатели процесса рыхления почвы, а именно, распределение почвы по фракционному составу  $K_d$  (рисунки 6, 7, 8) при скорости движения экспериментальной установки 10 км/ч.

Анализ результатов исследований показывает, что увеличение расстояния  $a$  между смежными волнистыми дисками существенно влияет на качество выполнения технологического процесса рыхления почвы и структурный состав для всех исследуемых дисков.

Так, увеличение расстояния между смежными дисками (при  $D = 510$  мм,  $n = 8$  шт.,  $B = 50$  мм) ведет к увеличению массовой доли фракций  $K_d$  размером более 25 мм с 18 %, при минимальном расстоянии между дисками  $a = 100$  мм, до 20 % при расстоянии между дисками  $a = 150$  мм и до



24 % при расстоянии  $a = 200$  мм (рисунок 6). Однако при этом наблюдается снижение массовой доли фракций  $K_d$  размером менее 10 мм.

Для дисков с параметрами ( $D = 550$  мм,  $n = 8$  шт.,  $B = 60$  мм) наблюдается незначительное снижение массовой доли фракций  $K_d$  размером более 25 мм с 18, 19, 22 % для соответствующих междисковых расстояний 100, 150, 200 мм (рисунок 7).

Заметное увеличение массовой доли фракций  $K_d$  размером более 25 мм наблюдается у дисков с параметрами ( $D = 500$  мм,  $n = 12$  шт.,  $B = 20$  мм). Так, при расстоянии между дисками 100 мм количество фракций размером более 25 мм составляет 24 %. Далее их содержание доходит до 30 % при  $a = 150$  мм и 31 % при  $a = 200$  мм (рисунок 8).

Влияние расстояния между смежными дисками на качественные показатели их работы обуславливается формированием зон напряжений и деформаций при вращении диска в почве. С увеличением расстояния свыше предельного образуются не разрыхленные промежутки между зонами работы смежных дисков. В этих промежутках почва подвергается только деформациям, возникающим при движении волны диска, что снижает качество крошения почвы.

Таким образом, результаты исследований показывают, что наиболее эффективным диском, с точки зрения рыхления и крошения почвы, являются диски с большей шириной волны (50–60 мм). Диски с узкой шириной захвата не обеспечивают требуемого качества крошения почвы.

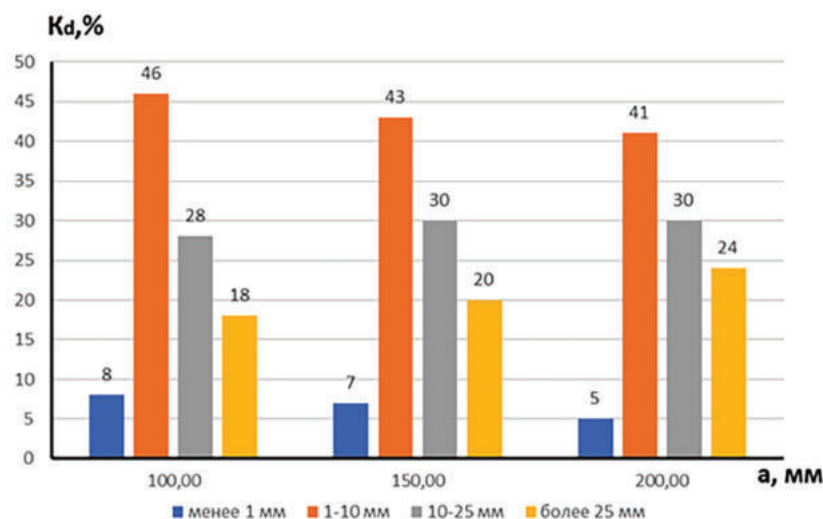


Рисунок 6 – Влияние расстановки волнистых дисков на качественные показатели процесса рыхления (при  $D = 510$  мм,  $n = 8$  шт.,  $B = 50$  мм)

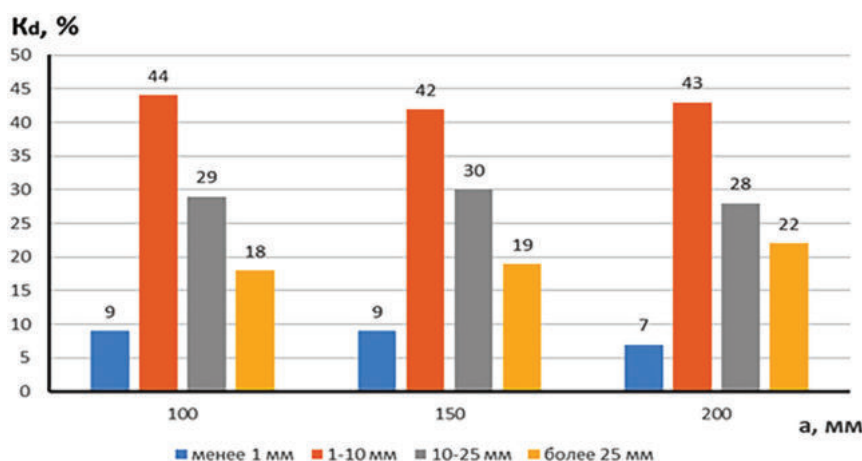


Рисунок 7 – Влияние расстановки волнистых дисков на качественные показатели процесса рыхления (при  $D = 550$  мм,  $n = 8$  шт.,  $B = 60$  мм)

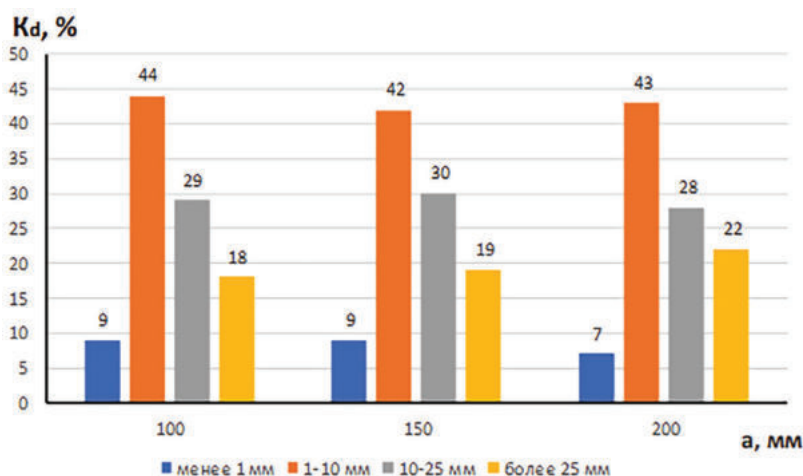


Рисунок 8 – Влияние расстановки волнистых дисков на качественные показатели процесса рыхления (при  $D = 500$  мм,  $n = 12$  шт.,  $B = 20$  мм)

Однако если уменьшить междисковое расстояние менее 100 мм, то данные диски также справятся с задачей рыхления и крошения почвы, но это будет значительно повышать материалоемкость, а также и энергоемкость экспериментальной установки.

### Заключение

В ходе проведения экспериментальных исследований катковых и рыхлительных рабочих органов на экспериментальной установке в полевых условиях получены следующие результаты:

- определен угол наклона уплотняющих пластин на катковом рабочем органе равный  $25^\circ$ , при котором обеспечивается необходимая плотность посевного слоя  $1,1\text{--}1,3$  г/см<sup>3</sup>, и создается необходимый мульчирующий поверхностный слой, препятствующий быстрому испарению влаги с почвы;
- определен рациональный диаметр катка  $D = 500$  мм, при котором обеспечиваются требуемые агротехнические показатели качества выполнения технологического процесса прикатывания почвы;
- установлено, что с увеличением скорости движения агрегата плотность посевного слоя снижается. Полученные значения зависимости плотности почвы от скорости движения агрегата позволяют реализовать возможность регулирования режимов работы катковых рабочих органов при предпосевной обработке почвы;
- приведена сравнительная оценка структурного состава почвы при различных расстояниях установки катковых рабочих органов относительно друг друга, показывающая, что наиболее ценные агрохимические фракции почвенных комков получаются при расстоянии их установки 200 мм;
- показано влияние межосевого расположения катковых рабочих органов на гребнистость поверхностного слоя почвы. Наилучший результат достигается при расстоянии 270 мм, а с его увеличением гребнистость поля увеличивается;
- установлено, что наибольшее влияние на технологический процесс рыхления и крошения почвы волнистыми дисками оказывает ширина волны. Уменьшение ширины волны волнистого диска приводит к увеличению массовой доли фракций комков более 25 мм. Диаметр диска при этом заметного влияния не оказывает.

### Список использованных источников

1. Бегун, П. П. Экспериментальная установка для предпосевной подготовки почвы под посев мелкозерновых культур / П. П. Бегун // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : материалы Междунар. науч.-практ. конф., 23–24 ноября 2023 г. – Минск : БГАТУ, 2023. – С. 112–116.
2. Медведев, В. В. Структура почвы (методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана). – Харьков : 13 типография, 2008. – 406 с.
3. Медведев, В. В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов / В. В. Медведев. – М. : Агропромиздат, 1988. – 159 с.

**А. А. Жешко, А. В. Ленский, В. И. Володкевич, А. В. Шах**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: azeshko@gmail.com*

## **РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫХ ПОТОКОВ В ТЕХНОЛОГИЯХ ПРОИЗВОДСТВА ЗЕРНА**

*Аннотация.* В статье представлены классификация и структура материальных потоков в технологиях возделывания зерновых культур, рассмотрены имитационные модели процесса уборки зерновых культур на рабочем участке.

*Ключевые слова:* зерноуборочный комбайн, имитационная модель, материальные потоки, технологии производства зерна.

**A. A. Zheshko, A. V. Lenski, V. I. Volodkevich, A. V. Shah**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: azeshko@gmail.com*

## **THE RESULTS OF THE DEVELOPMENT OF A MODEL OF THE MOVEMENT OF MATERIAL FLOWS IN GRAIN PRODUCTION TECHNOLOGIES**

*Abstract.* The classification and structure of material flows in the technologies of cultivation of grain crops are presented, simulation models of the process of harvesting grain crops at the workplace are considered.

*Keywords:* combine harvester, simulation model, material flows, grain production technologies.

### **Введение**

Эффективная организация ресурсного обеспечения сельскохозяйственных предприятий позволяет получить существенный экономический эффект, таким образом логистика в агропромышленном комплексе является не только наукой, но и практикой управления материальными, информационными, трудовыми, энергетическими, финансовыми и другими видами ресурсов. Прогнозирование и планирование производства в растениеводческой сфере является актуальной задачей как для отдельных сельскохозяйственных организаций, так и для агропромышленного комплекса в целом.

### **Основная часть**

*Классификация и структура материальных потоков в технологиях возделывания зерновых культур.* Сельскохозяйственное предприятие можно рассматривать как сложную динамическую систему, которая активно взаимодействует с другими надсистемами. Реализация технологии производства зерновых культур предполагает перемещение основной и побочной продукции – семян, пестицидов, удобрений, запчастей для ремонта и обслуживания тракторов и сельскохозяйственных машин, горюче-смазочных материалов и других ресурсов – в течение определенного периода времени в результате применения к ним логистических операций, таких как погрузка, перегрузка, затаривание и др. При этом необходимо отметить, что материальные потоки являются вещественными объектами, которые находятся в динамическом процессе обработки [1], трансформации, движении. В случае размещения материального объекта на складе он становится материальным запасом.

Между потоками и запасами есть взаимосвязь, поэтому управление запасами также имеет высокую значимость и может составлять 20–40 % от общих логистических издержек. Поддержание запасов на нижнем необходимом уровне позволяет реализовать концепцию управления «точно в срок», что в конечном итоге является основой «стройного производства» зерновой продукции [1].

Механизм взаимосвязи материальных потоков и запасов основан на том, что запас можно рассматривать как поток, скорость движения которого является нулевой. Запас не может появиться без формирующего его потока материальных ресурсов, в то время как ресурс можно понимать, как движущийся к необходимому месту запас [2, с. 37].

$$F = \frac{dS}{dt}, \quad (1)$$

где  $F$  – материальный поток;  $S$  – запас;  $t$  – время.

Таким образом, величина материального потока определяется как первая производная запаса по времени, тогда из формулы (1) величина запаса будет определяться как определенный интеграл [2, с. 37]:

$$S = \int_{t_0}^{t_1} F dt, \quad (2)$$

где  $t_0, t_1$  – соответственно начало и конец рассматриваемого периода.

Классификация и структура материальных потоков в технологиях возделывания зерновых культур представлена на рисунке 1.

В зависимости от *направления* перемещения потоков для технологии производства зерновых культур как динамической системы можно выделить *входящие* потоки, которые поступают извне – топливо, удобрения, пестициды, запчасти, а также *выходной* поток, который реализуется сельскохозяйственным предприятием – зерно.

К *сложным* материальным потокам в технологии возделывания и уборки пшеницы можно отнести поток разных запасных частей, в которые могут входить валы, подшипниковые опоры, натяжные ремни, шкивы, электрооборудование, рабочие органы и многие другие элементы для ремонта сельскохозяйственной техники. К *простым* следует отнести однопродуктовые материалы, например, удобрения, пестициды, семена.

В зависимости от отношения к логистической системе, можно выделить *внутренний* поток, например, в рассматриваемом случае незерновая часть урожая пшеницы перемещается внутри сельскохозяйственного предприятия. *Внешним* потоком можно считать зерно, которое впоследствии идет на продажу.



Рисунок 1 – Классификация и структура материальных потоков в технологиях возделывания зерновых культур

В зависимости от агрегатного состояния и способа транспортировки материальных ресурсов можно выделить твердые навалочные, твердые насыпные, штучные, жидкие наливные, а также газообразные грузы.

К *детерминированным* материальным потокам относят те, характеристики которых известны и заранее поддаются подсчетам, например, процесс отпуска пестицидов со склада, в зависимости от определенной дозы и предварительных расчетов. К *стохастическим* потокам можно отнести зерновую часть урожая, которую заранее можно прогнозировать, но точный результат можно получить только по факту после завершения процесса уборки.

*Непрерывные* потоки представляют собой фиксированное количество объектов, которые перемещаются через определенное пространство. Однако для сельскохозяйственного производства более характерен дискретный режим перемещения материальных ресурсов, когда объекты движутся с паузами и перерывами [3; 4, с. 17].

Каждому виду материальных потоков, представленных на рисунке 1, соответствует определенный информационный поток, который отражается в сопроводительной документации, картах маршрутов, данных с GPS-трекеров. При этом информационный поток может запаздывать или опережать связанный с ним информационный поток, либо выполняться одновременно с ним, т. е. синхронно. Таким образом для управления материальным потоком генерируется соответствующий информационный поток, который может существовать на различных типах носителей и в различной форме.

В зависимости от вида носителя информации можно выделить информационные потоки, передаваемые электронными каналами связи, а также существующие на бумажных и цифровых носителях. По назначению выделяют директивные информационные потоки, которые служат для управления основным материальным потоком, а также нормативно-справочные и учетно-аналитические, которые предоставляют справочную и аналитическую информацию. Режим обмена информацией может осуществляться как онлайн, так и офлайн. Также различия могут быть в способе доставки информации: почтой, курьером, различными электронными способами связи. Отдельно можно выделить информационные потоки в зависимости от степени секретности: закрытые и открытые.

В пределах любой логистической системы помимо информационных осуществляется также движение финансовых потоков, которые представляют собой направленное движение в пределах рассматриваемой системы, а взаимодействуют с надсистемами. Финансовые потоки могут направляться на закупку материалов и сырья, приобретение ценных бумаг и товаров, оплату труда рабочих. Движение финансовых потоков может осуществляться горизонтально – между одноуровневыми звеньями, а также на различных уровнях иерархии. Форма расчета может быть денежной, информационно-финансовой и учетно-финансовой.

Кроме перечисленных потоков существуют тесно связанные с ними сервисные и грузовые потоки. Сервисный поток представляет собой движение различных услуг, оказываемых потребителям за определенный период. Разновидностью последних являются грузовые потоки, представляющие собой движение груза по конкретному маршруту в рассматриваемый промежуток времени.

Для эффективной организации и управления производственным процессом, а также для планирования в растениеводстве применяют обобщенные расчеты по сводным показателям за определенный временной промежуток [5]. Вычисления могут производиться с использованием линейных, нелинейных или динамических моделей. Например, при возделывании зерновых культур известна прибыль от их реализации. Также известны нормы расхода материальных ресурсов, которые необходимо использовать для возделывания заданного объема. Таким образом необходимо разработать план производства, который будет обеспечивать максимальную прибыль при наименьших издержках [5, 6].

$$P = \sum_{j=1}^n p_j x_j \rightarrow \max, \quad (3)$$



$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1, \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2, \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m, \\ x_j \leq r_j, \\ x_j \geq d_j, j = \overline{1, n} \end{cases},$$

где  $n$  – число производимых зерновых культур в хозяйстве;  $m$  – число имеющихся ресурсов различных видов;  $b_i$  – запас ресурса вида  $i$ ;  $a_{ij}$  – норма расхода  $i$ -го ресурса для производства  $j$ -го вида зерновых культур;  $r_j$  – спрос на производство  $j$ -го вида зерновых культур;  $d_j$  – требования заказчика на объем производства  $j$ -го вида зерновых культур;  $p_j$  – прибыль от реализации зерновой культуры вида  $j$ ;  $P$  – общая прибыль.

Таким образом модель (3) выражает план производства, обеспечивающий максимальный объем прибыли с учетом ограниченности в ресурсах, спроса и требования заказчиков, выраженных неравенствами.

Необходимо отметить, что для оценки эффективности логистической деятельности сельскохозяйственного предприятия должно соблюдаться 7 условий применительно к производству зерновых культур это: зерно как товар в необходимом количестве и требуемого качества должно доставляться заказчику в конкретное место и нужное время с наименьшими затратами [6, с. 37–45].

Одним из наиболее информативных и наглядных способов представления процесса движения зерновой части урожая является построение диаграмм состояния, представленных на рисунках 2–5, что является основой имитационного моделирования движения зерна как материального потока. Имитационное моделирование представляет собой процесс создания и последующего анализа цифрового прототипа физической модели с целью изучения ее интересующих свойств и параметров. При этом имитационная модель должна точно описывать физическую модель, что позволяет получать необходимую информацию об изучаемой системе путем проведения экспериментов. Если результаты экспериментов над имитационной и физической моделями имеют минимальное расхождение, то построенная модель считается адекватной [7, с. 3]. Адекватность модели всегда зависит от цели моделирования, поскольку цифровой прототип не учитывает некоторые свойства физической модели и является ее абстракцией [8, с. 1]. В этой связи важным этапом в процессе моделирования является выделение наиболее важных и абстрагирование от менее существенных свойств физической модели.

Существует несколько принципов, на которых можно строить модели. Например, моделирование систем с дискретными событиями, системная динамика, построение динамических систем, а также агентное моделирование [9–12].

Дискретно-событийное моделирование характерно для систем с иерархической последовательностью технологических операций. Системная динамика подходит для исследования сложных систем и данный метод можно комбинировать с дискретно-событийными моделями. Агентное моделирование позволяет исследовать свойства отдельных агентов и изучать их воздействие на всю систему. Данный подход можно реализовать совместно с другими методами имитационного моделирования.

Анализ литературных источников [12–17] показал, что изучение процессов, связанных с механизацией сельскохозяйственного производства, проводится комбинированными методами, основанными на подходах агентного моделирования. В этой связи для исследования процесса уборки зерновых культур использовалась доработанная агентная модель Harvest Simulator [17] с уточненными параметрами и условиями выполнения технологического процесса. Модель состоит из агента верхнего уровня Main, на диаграмме которого располагаются геометрические примитивы, обозначающие рабочий участок, места стоянки техники, элеватор и другие объекты. Агентами являются зерноуборочный комбайн, перегрузчик зерна, который осуществляет забор материала от комбайна в поле и его транспортировку к месту перегрузки, а также зерновоз, который доставляет материал к месту послеуборочной доработки.

На рисунке 2 представлена диаграмма состояния процесса движения комбайна, для которой характерны следующие состояния:

- находится в состоянии покоя на стоянке на машинном дворе;
- движется к полю в начале смены;
- осуществляет движение по убираемому полю (вложенные состояния отвечают за движение комбайна в необходимом направлении);
- приостанавливается в момент заполнения бункера в ожидании перегрузчика зерна;
- движется к стоянке по завершении уборки рабочего участка.

Параллельно с диаграммой состояния движения комбайна выполняется контроль за наполнением его бункера (рисунок 3). При этом для диаграммы наполнения бункера в момент уборки характерны состояния:

- заполнение бункера;
- ожидание перегрузчика;
- перегрузка материала с одновременным заполнением бункера при движении с перегрузчиком.

Согласно плану моделирования начальной точке соответствует левый нижний угол прямоугольника, обозначающего рабочий участок. Поэтому для определения координаты начала рабочего хода используется выражение:

$$\begin{cases} x = x_p + B / 2 \\ y = y_p + L \end{cases}, \quad (4)$$

где  $x_p, y_p$  – координаты точки, определяющей положение прямоугольника на диаграмме типа агента Main;  $B$  – ширина захвата жатки зерноуборочного комбайна, м.

При инициализации модели комбайн находится на стоянке, а затем начинает перемещение к полю. Поэтому при запуске модели вычисляются координаты положения центра фигуры, которая обозначает место стоянки.

Переходы в различные состояния во время движения комбайна и наполнения его бункера осуществляются при получении сообщений, которые генерируются во время моделирования

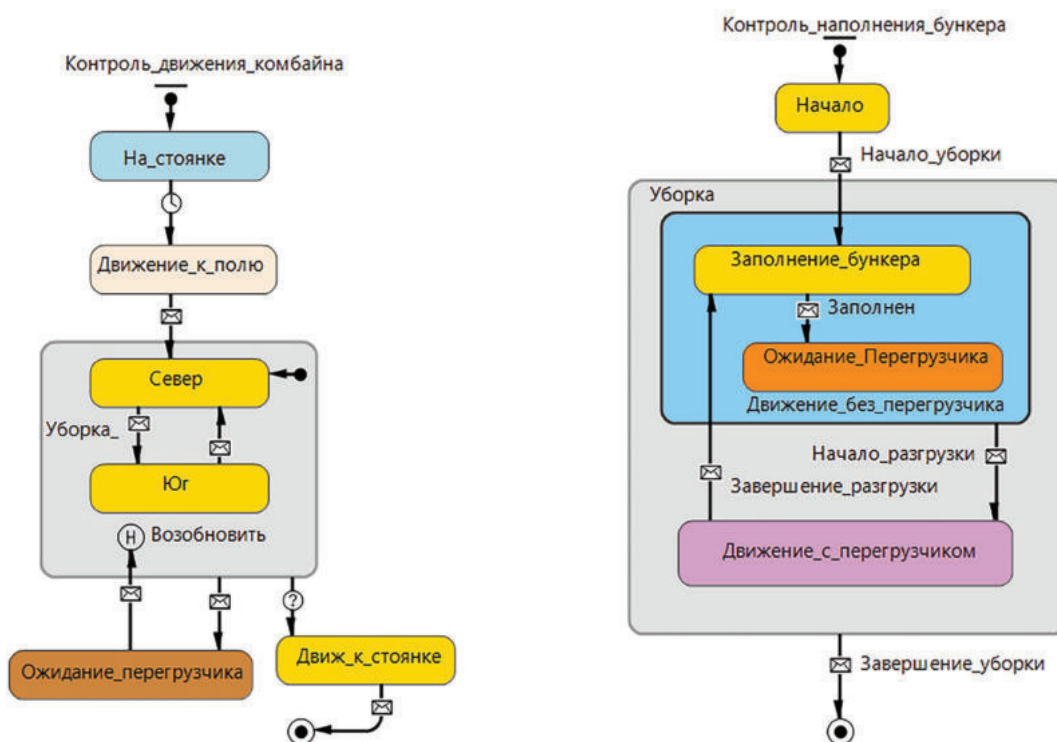


Рисунок 2 – Диаграмма состояния движения комбайна

Рисунок 3 – Диаграмма состояния наполнения бункера комбайна

в коде переходов и состояний. Переход из состояния пребывания на стоянке к движению к полю осуществляется с помощью перехода по таймингу без задержки. Выход из состояния уборки, начало движения к стоянке осуществляется с помощью перехода по выполнению условия:

$$x \geq x_p + A + B/2, \quad (5)$$

где  $A$  – ширина прямоугольника, обозначающего границы рабочего участка, м.

Поскольку на диаграмме типа агента Main поле задается с помощью графического примитива – прямоугольника, положение которого определяется координатами его верхнего правого угла, для отображения на поле в случайном порядке точек, обозначающих хлебостой используются прямоугольники с координатами  $x_{hi}$ ,  $y_{hi}$ . При запуске модели их координаты генерируются в случайном порядке функцией `uniform`:

$$f(x_{hi}) = \frac{1}{A-2}, \quad 0 < x_{hi} < A-2, \quad (6)$$

$$f(y_{hi}) = \frac{1}{L-2}, \quad 0 < y_{hi} < L-2,$$

где  $L$  – длина гона (высота прямоугольника), м.

Диаграмма, характеризующая процесс движения перегрузчика, представлена на рисунке 4. Основными состояниями являются: ожидание команды, поступающей с диаграммы движения комбайна (рисунок 2) в момент его остановки; загрузка с одновременным движением с комбайном с учетом изменения направления его движения для чего служит внутренний переход; движение к месту перегрузки, которое осуществляется при условии срабатывания сразу трех переходов при получении сообщений с других диаграмм. Состояние, когда данный агент находится на перегрузке, состоит из вложенных состояний – ожидание зерновоза и перегрузка зернового материала, переход между которыми осуществляется по таймингу с дополнительным условием, а также при получении сообщений.

Диаграмма, характеризующая процесс движения агента зерновоза, представлена на рисунке 5. Данный агент находится на месте перегрузки и имеет два вложенных состояния: загрузка,

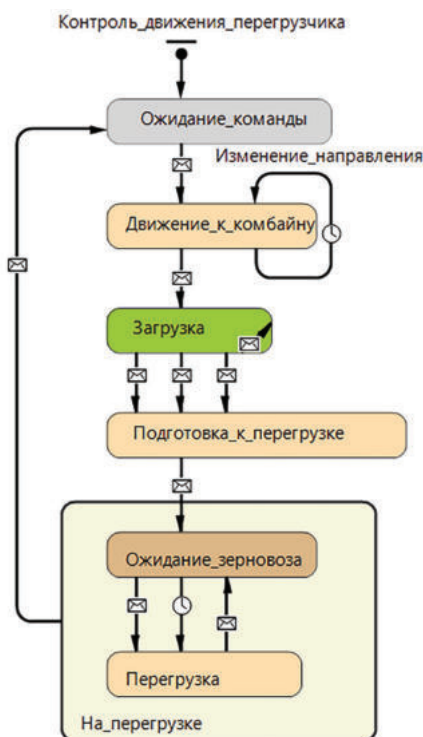


Рисунок 4 – Диаграмма состояния процесса движения перегрузчика

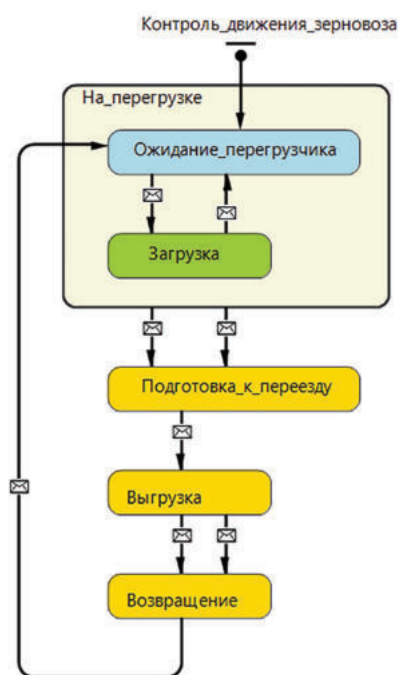


Рисунок 5 – Диаграмма состояния процесса движения зерновоза

когда перегрузчик подвозит новую порцию материала и его ожидания, при движении перегрузчика в поле за новой партией материала. Переходы осуществляются при получении сообщений с элементов диаграмм состояния. Когда кузов зерновоза заполнен, он перемещается к месту послеуборочной обработки зерна и после разгрузки возвращается обратно. Данные события отражены на диаграмме состояния 47 в виде блоков: подготовка к переезду, выгрузка и возвращение.

Для дополнительного контроля за состоянием наполнения бункера комбайна, а также кузовов перегрузчика и зерновоза используются элементы библиотеки моделирования потоков. Для этих целей используется элемент Tank (бункер), при наполнении и опустошении которого генерируются соответствующие сообщения для диаграмм состояния. Максимальная скорость на выходе соответствует скорости перегрузки зерна. А также элементы Fluid Enter и Fluid Exit, которые направляют и принимают поток к бункеру соответственно.

### Заключение

Таким образом в статье предложена классификация и структура материальных потоков в технологиях возделывания зерновых культур, на примере движения зерновой части урожая представлена имитационная модель процесса уборки.

Согласно итогам имитационного моделирования и сопоставления полученных данных с протоколами испытаний зерноуборочных комбайнов была подтверждена высокая сходимость полученных результатов. Например, для зерноуборочного комбайна расхождение по удельному расходу топлива составило 1,8 %, по производительности – 5,9 %.

Исследования выполнены при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (договор с БРФФИ № T23МН-004 от 02.05.2023 г.).

### Список использованных источников

1. Галяутдинов, Р. Р. Механизмы взаимодействия потоков и запасов на предприятии с точки зрения логистики / Р. Р. Галяутдинов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». – 2016. – Т. 10, № 1. – С. 157–163.
2. Ивуть, Р. Б. Логистика / Р. Б. Ивуть, С. А. Нарушевич. – Минск : БНТУ, 2004. – 328 с.
3. Григорьев, М. Н. Логистика. Базовый курс : учебник / М. Н. Григорьев, С. А. Уваров. – М. : Юрайт, 2011. – 782 с.
4. Левкин, Г. Г. Логистика в АПК : учеб. пособие / Г. Г. Левкин. – 2-е изд. – М. : Берлин : Директ-Медиа, 2014. – 245 с.
5. Скитер, Н. Н. Логическое моделирование производственных процессов в растениеводстве / Н. Н. Скитер, Т. В. Плещенко, Т. В. Склямина // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2007. – № 3 (7).
6. Кокунова, И. В. Особенности использования логистического подхода в агропромышленном комплексе / И. В. Кокунова // Известия Великолукской ГСХА. – 2015. – № 3.
7. Лимановская, О. В. Имитационное моделирование в AnyLogic 7 : учеб. пособие в 2 ч. / О. В. Лимановская. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. – Ч. 1. – № 3. – С. 37–45.
8. Леонова, Н. Л. Имитационное моделирование : конспект лекций / Н. Л. Леонова ; СПбГТУРП. – СПб., 2015. – 94 с.
9. Боев, В. Д. Моделирование в AnyLogic : пособие для практ. занятий / В. Д. Боев. – СПб. : ВАС, 2016. – 412 с.
10. Боев, В. Д. Компьютерное моделирование : пособие для практ. занятий, курсового и дипломного проектирования в AnyLogic 7 / В. Д. Боев. – СПб. : ВАС, 2014. – 432 с.
11. Акопов, А. С. Имитационное моделирование : учебник и практикум для академич. бакалавриата / А. С. Акопов. – М. : Юрайт, 2014. – 389 с.
12. Ivanov, D. Operations and Supply Chain Simulation with AnyLogic. Decision-oriented introductory notes for management students in bachelor and master programs / D. Ivanov // E-Textbook, Berlin School of Economics and Law. – 2017. – P. 97.
13. Худякова, Е. В. Оптимизация технико-экономических параметров организации процесса уборки зерновых культур на основе имитационного моделирования / Е. В. Худякова // Агроинженерия. – 2015. – № 5 (69).
14. Гордеев, А. С. Имитационная модель определения местоположения корневой системы плодовых растений / А. С. Гордеев, Б. С. Миниш // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2018. – № 1.
15. Rukomoynikov, K. P. Modeling operation of forest harvester in AnyLogic simulation system / K. P. Rukomoynikov, T. V. Sergeeva, T. A. Gilyazova // Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2023. – Vol. 27, № 3. – P. 69–80.
16. Galimov, R. R. Crop harvesting model in Anylogic simulation tool / R. R. Galimov, V. V. Tikhonovsky, V. Garafutdinova // South Siberian scientific bulletin. – № 6 (46). – December 2022. – P. 324–332.
17. Harvest Simulator. AnyLogic simulation software / Transportation and Logistics. – URL: <https://cloud.anylogic.com/model/b9142b00-a801-4275-a4df> (date of access: 17.07.2024).

**В. В. Микульский, Н. Д. Лепешкин, П. П. Бегун, В. В. Мижурин**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*E-mail: mehposev@mail.ru*

## **АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ СЕЯЛКИ ТОЧНОГО ВЫСЕВА С ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМОЙ ПОДАЧИ СЕМЯН И УДОБРЕНИЙ К ВЫСЕВАЮЩИМ АППАРАТАМ**

*Аннотация.* В статье рассмотрены отечественные технические средства, используемые в Республике Беларусь для посева кукурузы на зерно и на силос, выявлены их недостатки, а также представлены пути решения: необходимость разработки высокопроизводительных сеялок точного высева нового поколения с учетом зарубежного опыта.

*Ключевые слова:* сеялка точного высева, посев кукурузы, припосевное внесение удобрений, централизованный бункер семян, централизованный бункер удобрений, высевающий аппарат, электрический привод, механический привод, точное земледелие.

**V. V. Mikulski, N. D. Lepeshkin, P. P. Behun, V. V. Mizhurin**

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”*

*Minsk, Republic of Belarus*

*E-mail: mehposev@mail.ru*

## **RELEVANCE OF DEVELOPMENT OF PRECISION SEEDER WITH A CENTRALISED SYSTEM OF SEED AND FERTILIZER SUPPLY TO SEEDING MECHANISMS**

*Abstract.* The article presents domestic technical means used in the Republic of Belarus for sowing corn for grain and silage, reveals their disadvantages, and also presents ways of their solution, using foreign experience in the development of high-performance precision seeders of new generation.

*Keywords:* precision seeder, corn sowing, pre-sowing fertilizer application, centralized seed hopper, centralized fertilizer hopper, seeding device, electric drive, mechanical drive, precision farming.

### **Введение**

В рамках реализации программного комплекса мер на нынешнюю пятилетку [1] за последние 4 года посевные площади кукурузы были увеличены более чем на 20 %, и в настоящее время на зерно и на силос отведено 291 и 953 тыс. га соответственно. Это около 24 % площадей от общей пашни всех сельскохозяйственных организаций [2].

Для посева кукурузы в Республике Беларусь используют специальные сеялки, обеспечивающие точный высев, как правило, с припосевным внесением удобрений. По данным Минсельхозпрода, в стране имеется 2 163 сеялки точного высева [3], при этом необходимо отметить, что за последний год их численный состав был снижен на 115 единиц [4].

С учетом посевных площадей и технической возможности сева кукурузы нынешним численным составом сеялок точного высева расчетные сроки их посева в 2024 г. в зависимости от области, по данным Минсельхозпрода, составили от 22 до 48 дней. Необходимо также отметить, что по сравнению с 2023 г. в 2024 г. сроки сева были незначительно, но увеличены [4].

Согласно разработанным в стране действующим организационно-технологическим нормативам возделывания кукурузы на зерно и на силос оптимальным условием для сева является устойчивое прогревание почвы до 8–10 °С на глубине заделки семян. Продолжительность сева должно составлять 10–12 дней [5]. Таким образом, с учетом вышеназванных требований возделывания кукурузы, ни одна область нашей страны не обеспечивает регламентируемые сроки посева



сеялками точного высева. По этой причине для приближения посева в агротехнические сроки, сельскохозяйственные организации используют, как правило, для посева кукурузы комбинированные почвообрабатывающие посевные агрегаты. Однако использование технически не приспособленных посевных агрегатов к точному посеву кукурузы влечет за собой заметное снижение урожайности и качества всходов. Для обеспечения урожайности зеленой массы кукурузы на уровне точности специализированных сеялок пунктирного сева, нормы высева семян кукурузы при использовании посевных агрегатов завышают до 1,25–1,3 п. е/га (при норме 0,9–1,1 п. е/га), что в конечном итоге отрицательно сказывается на рентабельности продукции. Следовательно, для обеспечения качественного посева кукурузы в агротехнические сроки, в условиях острой нехватки механизаторских кадров, наше сельское хозяйство нуждается в высокопроизводительных, ресурсосберегающих сеялках точного высева.

### Основная часть

Основными отечественными производителями сеялок точного высева являются ОАО «Управляющая компания холдинга «Лидсельмаш» (6-секционная сеялка точного высева СПЧ-6ЛТ) (рисунок 1), ОАО «Лидаагропроммаш» (8- и 12-секционные сеялки точного высева СТВ-8КУ и СТВ-12У) (рисунок 2) и ОАО «Брестский электромеханический завод» (6-, 8- и 12-секционные сеялки точного высева СКП-6К/СКП-8КУ, СКП-12 КУ «Берестье») (рисунок 3).

Основным недостатком данных сеялок является их низкая сменная производительность, связанная в первую очередь с необходимостью постоянно, в течение рабочего дня осуществлять



Рисунок 1 – 6-секционная сеялка точного высева СПЧ-6ЛТ (ОАО «Управляющая компания холдинга «Лидсельмаш»)



Рисунок 2 – 12-секционная сеялка точного высева СТВ-12У (ОАО «Лидаагропроммаш»)



Рисунок 3 – 12-секционная сеялка точного высева СКП-12 КУ «Берестье» (ОАО «Брестский электромеханический завод»)

загрузку семян в соответствующие емкости объемом от 20 до 40 л, находящиеся над каждой секцией. Загрузка удобрений осуществляется аналогичным образом: в соответствующие емкости объемом от 30 до 35 л в расчете на одну секцию за исключением сеялок СКП-8КУ и СКП-12 КУ «Берестье», у которых имеется централизованный фронтальный бункер емкостью 1 650 л, но также требуется в течение смены несколько дозагрузок.

Кроме того, при использовании 8- и 12-секционных сеялок из-за применения в них сплошной балочной системы при переездах с поля на поле и по окончании смены увеличиваются затраты времени на их перевод из рабочего в транспортное положение и наоборот. Применение сплошной балочной системы также ограничивает рабочую ширину захвата сеялки. Это объясняется тем, что поскольку эксплуатационная масса таких сеялок напрямую зависит от их рабочей ширины захвата, а их эксплуатация в агрегате с трактором, как правило, осуществляется в навесном состоянии, то ограничивающим фактором эксплуатационной массы сеялки, а, следовательно, и рабочей ширины захвата являются допустимые нагрузки, воспринимаемые навесным устройством трактора.

Немаловажным недостатком отечественных сеялок является механический привод высевальных аппаратов. Дело в том, что при использовании механического привода высевальных аппаратов, при пересеве семян у края поля из-за отсутствия возможности посекционного отключения секций и компенсации высева на поворотах, наблюдается угнетение семян, приводящее к снижению урожайности. Также, в зависимости от качества предпосевной обработки почвы, возможны проскальзывания ведущих колес, особенно это заметно на повышенных рабочих скоростях, что приводит к снижению точности высева семян и повышению их просева. Кроме того, недостатком механического привода высевальных аппаратов являются и повышенные затраты времени при перенастройке нормы высева, а также повышенные материальные и временные затраты на техобслуживание редукторов и цепных передач.

В настоящее время ряд зарубежных стран уже смогли решить схожие недостатки, которые также были у их аналогов, в результате чего такими фирмами как MASCHIO GASPARDO (Италия), HORSCH, Amazonen-Werke (Германия), Väderstad (Швеция), John Deere (США) и др. были разработаны целые серии нового поколения высокопроизводительных сеялок точного высева (рисунки 4–6) [6–8].

Отличительная особенность сеялок точного высева нового поколения от ранее рассмотренных отечественных сеялок заключается в наличии прицепного централизованного бункера для семян и удобрений с электрическим приводом высевальных аппаратов. Эти особенности конструкции позволяют значительно повысить сменную производительность сеялки за счет:



Рисунок 4 – Сеялка точного высева CHRONO 900 (MASCHIO GASPARDO, Италия)





Рисунок 5 – Сеялка точного высева  
MAESTRO 16SV (HORSCH, Германия)



Рисунок 6 – Сеялка точного высева  
Tempo L 16 Central Fill (Väderstad, Швеция)

- возможности увеличения их рабочей ширины захвата;
- отсутствия необходимости осуществлять ее дозаправку в течение смены посевным материалом и удобрениями;
- быстрого, не выходя из кабины трактора, перевода секций из рабочего в транспортное положение и наоборот;
- увеличения скорости посева до 12 км/ч без потери качества высева и быстрой перенастройки норм высева из кабины трактора через бортовой компьютер благодаря наличию электропривода высевающих систем.

Кроме того, применение электропривода высевающих систем позволяет:

- повысить урожайность до 17 % за счет устранения угнетения семян при пересевах благодаря возможности индивидуального отключения секций и компенсации высева на поворотах;
- снизить затраты на посевной материал в среднем на 5 % за счет исключения их пересева;
- снизить затраты на техническое обслуживание привода высевающих систем за счет применения надежного, практически не требующего обслуживания электропривода.

### Заключение

В настоящее время анализ мирового рынка показывает, что сеялки точного высева с централизованной системой подачи семян и удобрений к высевающим аппаратам с системой электропривода имеют несомненные преимущества по сравнению с сеялками отечественного производства, где загрузка семян кукурузы и удобрений осуществляется в отдельные емкости, находящиеся над каждой секцией высевающих аппаратов с механическим приводом их высева. Это ухудшает, в первую очередь, показатели производительности посева. Установлено, что в последние годы подобные сеялки в стране набирают популярность, особенно в хозяйствах, которые имеют большие площади под посев кукурузы и стремятся повысить качество всходов, а, следовательно, и урожайность. На отечественном рынке стоимость данных сеялок зарубежного производства довольно высокая и варьируется в диапазоне от 180 до 260 тыс. евро, в связи с чем многие сельскохозяйственные организации не в состоянии приобрести данную технику. Следовательно, является актуальной задачей создание и освоение производства более доступного для аграриев нашей страны в ценовом сегменте отечественного аналога сеялки точного высева с централизованной системой подачи семян и удобрений к высевающим аппаратам с системой электропривода, внедрение которого обеспечит повышение сменной производительности посева семян кукурузы в целом по стране надлежащего качества с исключением их пересева.

### Список использованных источников

1. Программный комплекс мер по развитию кормопроизводства на 2021–2025 годы, утвержденный Заместителем Премьер-министра Республики Беларусь от 16 марта 2021 г., № 06/217-261/220.
2. Рабочий план по заготовке травяных кормов в 2024 году : офиц. сайт Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. – Минск, 2007–2024. – URL: <https://mshp.gov.by/uploads/Files/documents/plant/rplan-korma2024.pdf> (дата обращения: 20.05.2024).

3. Рабочий план по подготовке и проведению весенних полевых работ в 2024 году : офиц. сайт Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. – Минск, 2007–2024. – URL: [https:// mshp.gov.by/uploads/Files/documents/plant/rp-vpr-2024.pdf](https://mshp.gov.by/uploads/Files/documents/plant/rp-vpr-2024.pdf) (дата обращения: 20.05.2024).
4. Рабочий план по подготовке и проведению весенних полевых работ в 2023 году : офиц. сайт Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. – Минск, 2007–2024. – URL: [https:// mshp.gov.by/uploads/Files/documents/plant/vpr2023\\_v2.pdf](https://mshp.gov.by/uploads/Files/documents/plant/vpr2023_v2.pdf) (дата обращения: 20.05.2024).
5. Организационно-технологические нормативы возделывания кормовых и технических культур : сб. отраслевых регламентов / НАН Беларуси, Науч. практ. центр НАН Беларуси по земледелию ; рук. разработ. : Ф. И. Привалов [и др.] ; под общ. ред. В. Г. Гусакова, Ф. И. Привалова. – Минск : Беларус. навука, 2012. – 469 с.
6. CHRONO 900 : офиц. сайт компании MASCHIOGASPARDO. – 2024. – URL: <https://www.maschiogaspardo.com/ru/web/russia/chrono-900> (дата обращения: 20.05.2024).
7. Шаг в будущее пневматических машин точного высева MAESTRO SV/SX : офиц. сайт компании HORSCH. – 2024. – URL: [https://agrotehsfera.ru/wmp\\_horsch/maestro-sv-sx](https://agrotehsfera.ru/wmp_horsch/maestro-sv-sx) (дата обращения: 20.05.2024).
8. Новая сеялка Tempo L 16-24 Central Fill : офиц. сайт компании VADERSTAD. – 2024. – URL: <https://www.vaderstad.com/ru/seyalki-propashnie/seyalki-tempo/tempo-l-16-24-central-fill/?ysclid=m150jn4ft0597204096> (дата обращения: 20.05.2024).

**Н. Д. Лепешкин**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: mehposev@mail.ru*

## **К ВОПРОСУ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЛОСКОГО КЛИНА С ПОЧВОЙ**

*Аннотация.* Работа посвящена теоретическому исследованию взаимодействия клина с почвой. Предложены аналитические зависимости для определения тягового сопротивления клина методом учета отдельных факторов, в том числе и боковых зон разрушения.

*Ключевые слова:* обработка почвы, взаимодействие клина с почвой, тяговое сопротивление, боковые зоны расширения.

**N. D. Lepeshkin**

*SUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: mehposev@mail.ru*

## **ON THE ISSUE OF INTERACTION OF A FLAT WEDGE WITH THE SOIL**

*Abstract.* The work is devoted to a theoretical study of the interaction of the wedge with the soil. Analytical dependencies have been proposed for determining the traction resistance of a wedge by taking into account individual factors, including lateral zones of destruction.

*Keywords:* tillage, interaction of the wedge with the soil, traction resistance, lateral expansion zones.

### **Введение**

Несмотря на давность существования почвообрабатывающих машин процесс взаимодействия рабочих органов с почвой остается недостаточно изученным. Справедливо и в наше время высказывание академика В. П. Горячкина [1], что «вопрос о деформации пласта до сих пор составляет камень преткновения для всякого рода теоретических исследований и до сих пор не может считаться разрешенным».

Классической формулой для определения тягового сопротивления плуга и других машин является рациональная формула В. П. Горячкина [1]:

$$P = fQ + kab + \varepsilon abv^2, \quad (1)$$

где  $fQ$  – сопротивление на перемещение плуга, кН;  $kab$  – сопротивление на отделение пласта от массива почвы и деформацию его, кН;  $\varepsilon abv^2$  – сопротивление на отбрасывание пласта в сторону, кН.

Однако в этой формуле не учитывается ряд факторов, влияющих на тяговое сопротивление рабочих органов: коэффициенты  $k$  и  $\varepsilon$  необходимо определять экспериментальным путем. Поэтому в настоящее время многие исследователи используют метод учета отдельных факторов, влияющих на величину тягового сопротивления рабочих органов, и предлагают многочисленные формулы. Это упрощает нахождение зависимостей взаимодействия рабочего органа с почвой.

При взаимодействии клина с почвой впереди него образуются три зоны деформации (рисунк 1) [2]:

- 1 – зона разрушения пласта, определяемая контуром клина  $ABCD$ ;
- 2 – зона разрушения почвы за пределами контура клина;
- 3 – зона упругих пластических деформаций, которые не достигают предела разрушения.

После прохода клина почва в этой зоне остается монолитной (неразрушенной).





Рисунок 1 – Схема зон деформации почвы клином:  
 $a$  – в поперечно-вертикальной плоскости;  $b$  – в горизонтальной плоскости

Очевидно, чем больше энергии пойдет на разрушение почвы в зонах 1 и 2 (рисунок 1), тем будет выше КПД рабочего органа и ниже энергоемкость обработки почвы. КПД рабочего органа можно определить из уравнения:

$$\eta = (E_1 + E_2) / E, \quad (2)$$

где  $E_1$  – энергия, затрачиваемая на разрушение пласта сечением  $ab$ ,  $a$  – глубина хода клина,  $b$  – ширина захвата клина;  $E_2$  – энергия, затрачиваемая на разрушение почвы за пределами сечения пласта  $ab$ ;  $E$  – полная энергия, затраченная на перемещение клина.

$$E = E_1 + E_2 + E_3, \quad (3)$$

где  $E_3$  – энергия на совершение упругих и пластических деформаций за пределами зон разрушения.

Энергия  $E_2$  при сплошной обработке почвы идет на совершение полезной работы, так как облегчает работу клина при последующем проходе. Энергия  $E_3$  расходуется бесполезно на уплотнение почвы, а часть ее переходит в тепло.

Как абсолютные, так и относительные значения зон деформации будут меняться при различных схемах взаимодействия рабочего органа с почвой, при изменении геометрических параметров рабочего органа и физико-механических свойств почвы.

Зона 3 деформации без разрушения может распространяться на значительную величину. Так, при работе плугов деформации распространяются в сторону от полевого обреза плуга до 1,5 м на суглинистой старопахотной почве и до 3 м – на целинной торфяно-болотной почве низинного типа [2]. Эти данные показывают, что при взаимодействии рабочих органов на почву происходит деформация без разрушения значительных объемов последней, часто в несколько раз превосходящая размеры пласта, определяемого контуром рабочего органа.

Цель статьи – теоретически исследовать процесс взаимодействия клинообразных рабочих органов с почвой и предложить аналитические зависимости для определения тягового сопротивления клина методом учета отдельных факторов, в том числе и боковых зон разрушения.

### Основная часть

Исходя из деформации почвы тяговое сопротивление клина будет равно:

$$P = P_1 + P_2 + P_3, \quad (4)$$

где  $P_1$  – сопротивление почвы разрушению по контуру клина (рисунок 1, зона 1), кН;  $P_2$  – сопротивление почвы разрушению за пределами контура клина (рисунок 1, зона 2), кН;  $P_3$  – сопротивление почвы деформации за пределами зон разрушения (рисунок 1, зона 3), кН.

Силу  $P_3$  теоретически определить пока не представляется возможным, она может быть учтена поправочным коэффициентом. Чем меньше ширина захвата, тем большее относительное значение будет иметь эта составляющая.

Если не учитывать отдельно силу  $P_3$ , а силы  $P_1$  и  $P_2$  заменить конкретными усилиями, учитывающими влияние отдельных факторов на величину тягового сопротивления, в том числе и боковых зон расширения почвы, то тяговое сопротивление клина можно определить по формуле:

$$P = P_{\text{л}} + P_{\text{с}} + P_{\text{п}} + P_{\text{г}}, \quad (5)$$

где  $P_{\text{Л}}$  – усилие внедрения лезвия клина в почву, кН;  $P_{\text{С}}$  – усилие на преодоление сопротивления почвы сдвигу, кН;  $P_{\text{П}}$  – усилие на подъем пласта по наклонной плоскости клина, кН;  $P_{\text{г}}$  – усилие на преодоление динамического напора пласта, кН.

Установим зависимости для определения величин – составляющих тягового сопротивления клина в отдельности.

При перемещении клина в почве его лезвие производит сжатие почвы впереди себя и затем раздвигает ее вверх и вниз, отделяя пласт от массива.

Усилие, затрачиваемое на внедрение лезвия клина в почву  $P_{\text{Л}}$ , зависит также от скорости движения клина, с увеличением которой возрастает динамическая нагрузка на лезвие. Однако, учитывая малый объем почвы, воздействующий на лезвие, влиянием скорости на усилие внедрения лезвия можно пренебречь.

Рассмотрим работу клина, установленного под углом к направлению движения, в сплошном массиве почвы (рисунок 2).

Усилие для внедрения лезвия клина в почву  $P_{\text{Л}}$  можно представить выражением:

$$P_{\text{Л}} = \frac{k_s t_{\text{Л}} b}{\sin \gamma \cos \varphi}, \quad (6)$$

где  $k_s$  – удельное сопротивление почвы, приходящееся на единицу лобового сечения лезвия, Н/м<sup>2</sup>;  $t_{\text{Л}}$  – толщина лезвия, м;  $b$  – ширина клина, м;  $\gamma$  – угол расположения лезвия к направлению движения, град;  $\varphi$  – угол между равнодействующей  $P_{\text{Л}}$  и силой нормального давления  $N_{\text{Л}}$ , град.

Проекция усилия для внедрения лезвия почву на оси  $X$  и  $Y$ :

$$P_{\text{Л}(X)} = \frac{k_s t_{\text{Л}} b \sin(\gamma + \varphi'')}{\sin \gamma \cos \varphi''}. \quad (7)$$

$$P_{\text{Л}(Y)} = \frac{k_s t_{\text{Л}} b \cos(\gamma + \varphi'')}{\sin \gamma \cos \varphi''}. \quad (8)$$

Второй член уравнения (5), т. е. усилие на преодоление сопротивления почвы сдвигу  $P_{\text{С}}$ , определим из условия, что при воздействии клина на почву происходит ее сдвиг в ортогональном сечении (рисунок 2).

Плоскость сдвига находится выше лезвия клина. Так как это расстояние незначительно, то для простоты расчетов принимаем направление плоскости сдвига из лезвия клина.

В производственных условиях клиновидные рабочие органы при сплошной обработке почвы, как правило, работают в сплошной или полусплошной среде, т. е., с одной стороны, имеется почва, разрушенная при предыдущем проходе.

Боковая плоскость разрушения по данным ряда исследований [3–5] наклонена к подошве борозды под углом  $\psi_6$  около 45°.

Обозначим углы в ортогональном сечении к лемеху с индексом «штрих», площадь сдвига для сплошной среды –  $S_{\text{С}}$ , полусплошной –  $S_{\text{П}}$ .

Так как часть рабочих органов представляет собой два составленных косых клина, то для одного косого клина будем учитывать только одну боковую зону расширения.

Площади сдвига можно выразить (рисунок 3):

$$S_{\text{С}} = \frac{a}{\sin \psi' \sin \gamma} \left( b + \frac{\text{actg} \psi_6}{2} \right), \quad (9)$$

$$S_{\text{П}} = \frac{a}{\sin \psi' \sin \gamma} \left( b - \frac{\text{actg} \psi_6}{2} \right), \quad (10)$$

где  $a$  – глубина рыхления, м;  $b$  – ширина клина, м.

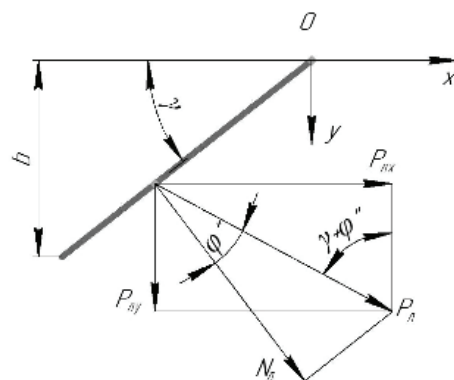


Рисунок 2 – Действие лезвия клина на почву



$$\psi' = 90 - \frac{\beta + \varphi' + \rho'}{2}, \quad (14)$$

где  $\varphi'$  – угол трения почвы по металлу в ортогональном сечении к лезвию клина, град;  $\rho'$  – угол трения почвы по почве в ортогональном сечении к лезвию клина, град;  $\psi'$  – угол сдвига почвы в ортогональном сечении к лезвию клина, град;  $\beta$  – угол крошения, град.

Угол вступления пласта на рабочую поверхность клина:

$$\gamma_b = \arctg(\tg\gamma \cos\beta). \quad (15)$$

Нормальное давление на лицевую поверхность клина и силу трения определяем по формулам, предложенным академиком В. П. Горячкиным [1]:

$$N_C = \frac{K_4 S \cos \rho' \cos \varphi'}{\sin(\beta + \varphi' + \rho' + \psi')}. \quad (16)$$

$$F_C = N_C \tg \varphi. \quad (17)$$

Максимальное усилие на преодоление сопротивления почвы сдвигу:

$$P_C = \frac{N_C}{\cos \varphi} = \frac{K_4 S \cos \rho' \cos \varphi'}{\cos \varphi \sin(\beta + \varphi' + \rho' + \psi')}. \quad (18)$$

Средняя величина усилия на преодоление сопротивления почвы сдвигу в два раза меньше, так как процесс сдвига почвы циклический и усилие колеблется от нуля до максимума (в реальных условиях оно не достигает ни нуля, ни максимума).

В уравнении (18) площадь  $S$  в зависимости от условий работы определяется по формулам (9) или (10). Для прямого клина уравнение (18) упрощается, так как  $\gamma = 90^\circ$ , а углы входят без индекса «штрих».

Далее определим усилие на подъем пласта по наклонной плоскости клина  $P_{\Pi}$ .

При подъеме пласта по передней грани косого клина он опирается также на плоскость сдвига. Чтобы найти нормальную реакцию передней плоскости клина, составим уравнение равновесия пласта в ортогональном сечении к лезвию (рисунок 5).

Вес пласта почвы  $G$  при отсутствии движения уравновешивается силами нормального давления лицевой поверхности клина  $N_{\Pi}$  и плоскостью сдвига  $Q_{\Pi}$ . При движении по плоскости клина развивается сила внешнего трения (угол трения почвы по металлу обозначен  $\varphi$ ), на плоскости сдвига – сила внутреннего трения (угол трения почвы по почве –  $\rho$ ).

Суммарная сила нормального давления и трения в ортогональном сечении к лезвию отклонена от нормалей к передней грани клина и плоскости сдвига на углы  $\varphi'$  и  $\rho'$ . Вес пласта в данном случае уравновешивается равнодействующими от нормальных давлений и сил трения: передней грани клина –  $N'_{\Pi}$  и плоскости сдвига –  $Q'_{\Pi}$ .

По теореме синусов можно записать:

$$\frac{N'_{\Pi}}{\sin(\rho' + \psi')} = \frac{G}{\sin(\beta + \varphi' + \rho' + \psi')}. \quad (19)$$

Откуда:

$$N'_{\Pi} = \frac{G \sin(\rho' + \psi')}{\sin(\beta + \varphi' + \rho' + \psi')}. \quad (20)$$

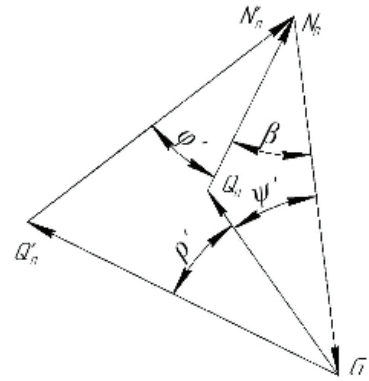


Рисунок 5 – Схема действия сил при подъеме пласта

Используя выражение (20), получим:

$$N_{\Pi} = \frac{G \sin(\rho' + \psi') \cos \varphi'}{\sin(\beta + \varphi' + \rho' + \psi')}. \quad (21)$$

$$F_{\Pi} = N'_{\Pi} \operatorname{tg} \varphi. \quad (22)$$

Вес почвы на клине:

$$G = V\delta, \quad (22)$$

где  $V$  – объем почвы на клине,  $\text{м}^3$ ;  $\delta$  – объемный вес почвы.

Усилие для подъема пласта:

$$P_{\Pi} = \frac{N_{\Pi}}{\cos \varphi} = \frac{V\delta \sin(\rho' + \psi') \cos \varphi'}{\sin(\beta + \varphi' + \rho' + \psi') \cos \varphi}, \quad (24)$$

Для прямого клина уравнение (24) значительно упрощается, так как угол  $\gamma = 90^\circ$ , а углы принимаются без индекса «штрих».

Определим усилие на преодоление динамического напора пласта  $P_g$ .

Нормальное давление передней грани на почву зависит не только от веса и деформации пласта, но также и от скорости перемещения клина. Выразим нормальное давление от сил инерции пласта  $N_g$  для случая деформации почвы клином перпендикулярно его передней грани с последующим сдвигом, используя выражение, полученное Г. Н. Синеоковым [6]:

$$N_g = \frac{\delta \left( ab + \frac{a^2 \operatorname{ctg} \psi_6}{2} \right) U^2 \sin 2\beta}{2g}. \quad (25)$$

где  $U$  – скорость движения,  $\text{м/с}^2$ .

Сила трения:

$$F_g = N_g \operatorname{tg} \psi. \quad (26)$$

Усилие на преодоление динамического напора пласта:

$$P_g = \frac{N_g}{\cos \varphi} = \frac{\delta \left( ab + \frac{a^2 \operatorname{ctg} \psi_6}{2} \right) U^2 \sin 2\beta}{2g \cos \varphi}. \quad (27)$$

Определим суммарное продольное, боковое и вертикальное тяговое сопротивление прямого и косого клина.

Направление движения клина осуществляется по оси  $X$ , ширина и высота его совпадает соответственно с осью  $Y$  и  $Z$ . Как указывает Г. Н. Синеоков [6] целесообразно учитывать нормальные и касательные (трение) силы раздельно. Полное продольное, боковое и вертикальное тяговое сопротивление клина выразится проекцией всех сил ( $P_{\Pi} + P_C + P_{\Pi} + P_g$ ) на оси  $X, Y, Z$ .

Применяя зависимости, полученные Г. Н. Синеоковым и, учитывая, что угол вступления пласта на клин  $\gamma_b$  не равен углу постановки лезвия к направлению движения клина  $\gamma$ , находим проекции тягового сопротивления клина с учетом боковой зоны расширения почвы:

– на ось  $X$ :

$$P_{(X)} = P_{\Pi(X)} + P_{C(X)} + P_{\Pi(X)} + P_{g(X)} = \frac{k_s t_{\Pi} b \sin(\gamma + \varphi'')}{\sin \gamma \cos \varphi''} + \left[ \frac{0,5 K_4 S \cos \rho' \cos \varphi' + V \delta \sin(\rho' + \psi') \cos \varphi'}{\sin(\beta + \varphi' + \rho' + \psi')} + \frac{\delta \left( ab + \frac{a^2 \operatorname{ctg} \psi_6}{2} \right) U^2 \sin 2\beta}{2g \cos \varphi} \right] \times [\sin \beta \sin \gamma - \operatorname{tg} \varphi (\cos \beta \sin \gamma \sin \gamma_b + \cos \gamma \cos \gamma_b)]. \quad (28)$$



– на ось Y:

$$P_{(Y)} = P_{Л(Y)} + P_{С(Y)} + P_{П(Y)} + P_{g(Y)} = \frac{k_{st} b \sin(\gamma + \varphi'')}{\sin \gamma \cos \varphi''} +$$

$$+ \left[ \frac{0,5 K_4 S \cos \rho' \cos \varphi' + V \delta \sin(\rho' + \psi') \cos \varphi'}{\sin(\beta + \varphi' + \rho' + \psi')} + \frac{\delta \left( ab + \frac{a^2 \operatorname{ctg} \psi_6}{2} \right) U^2 \sin 2\beta}{2g} \right] \times$$

$$\times [\sin \beta \cos \gamma + \operatorname{tg} \varphi (\cos \beta \cos \gamma \sin \gamma_{\text{в}} + \sin \gamma \cos \gamma_{\text{в}})]. \quad (29)$$

– на ось Z:

$$P_{(Z)} = P_{С(Z)} + P_{П(Z)} + P_{g(Z)} =$$

$$= \left[ \frac{0,5 K_4 S \cos \rho' \cos \varphi' + V \delta \sin(\rho' + \psi') \cos \varphi'}{\sin(\beta + \varphi' + \rho' + \psi')} + \frac{\delta \left( ab + \frac{a^2 \operatorname{ctg} \psi_6}{2} \right) U^2 \sin 2\beta}{2g} \right] \times$$

$$\times \operatorname{tg} \varphi \sin \beta \sin \gamma_{\text{в}}. \quad (30)$$

Величины, входящие в уравнение (28), (29), (30), применяются в зависимости от вида клина и схемы его работы.

### Заключение

Теоретическое исследование процесса взаимодействия клинообразных рабочих органов с почвой позволило получить аналитические зависимости для определения величины продольного, бокового и вертикального тягового сопротивления клина методом учета отдельных факторов, в том числе и боковых зон разрушения.

### Список использованных источников

1. Горячкин, В. П. Собрание сочинений : в 3 т. / В. П. Горячкин. – Т. 2. – М. : Колос, 1968. – 455 с.
2. Механизация защиты почв от водной эрозии в Нечерноземной полосе ; под ред. А. Т. Вагина. – Л. : Колос, 1977. – 272 с.
3. Зеленин, А. Н. Основы разрушения грунтов механическими способами / А. Н. Зеленин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1968. – 376 с.
4. Кострицын, А. К. О сопротивлении почвы рабочим органам почвообрабатывающих машин / А. К. Кострицын. – Труды ВИМ. – М. – 1965. – Т. 35.
5. Лепешкин, Н. Д. Исследование влияния ширины долота на критическую глубину рыхления чизельными рабочими органами / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин // Механизация и электрификация сельского хозяйства : темат. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск : Беларус. навука, 2024. – Вып. 57. – С. 132–135.
6. Синеоков, Г. Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г. Н. Синеоков, И. М. Панов. – М. : Машиностроение, 1977. – 328 с.

**Н. Д. Лепешкин, В. В. Миккульский, В. В. Мижурин**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: mehposev@mail.ru*

## **К ОБОСНОВАНИЮ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ШИРОКОЗАХВАТНОЙ ЗЕРНОВОЙ СЕЯЛКИ**

*Аннотация.* В статье представлена конструктивно-технологическая схема широкозахватной механической сеялки с централизованным бункером.

*Ключевые слова:* механическая сеялка, посевной материал, конструктивно-технологическая схема, ширина захвата, централизованный бункер.

**N. D. Lepeshkin, V. V. Mikulsky, V. V. Mizhurin**

*SUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: mehposev@mail.ru*

## **TO THE JUSTIFICATION OF THE DESIGN AND TECHNOLOGICAL SCHEME OF A WIDE-RANGE GRAIN SEEDER**

*Abstract.* The article presents a design and technological diagram of a wide-cut mechanical seeder with a centralized bunker.

*Keywords:* mechanical seeder, seed material, design and technological scheme, working width, centralized bunker.

### **Введение**

В соответствии с Государственной программой «Аграрный бизнес» на 2021–2025 гг. [1] одной из мер для повышения производительности при посеве зерновых культур в Беларуси является увеличение доли широкозахватных посевных машин (6 м и более). С учетом этого в республике проделана большая работа по созданию таких машин. На ведущих отечественных предприятиях (ОАО «БЭМЗ», ОАО «Лидагропроммаш», ОАО «АМКОДОР» – управляющая компания холдинга, ОАО «Витебский МРЗ», ОАО «Бобруйсксельмаш») освоено производство современных широкозахватных сеялок и почвообрабатывающих агрегатов, основной конструктивной особенностью которых является наличие централизованного бункера большого объема, а также их быстрый перевод из транспортного положения в рабочее и наоборот, что сокращает непроизводительные затраты времени, а, следовательно, наряду с увеличением ширины захвата, способствует повышению производительности машинно-тракторного агрегата [2]. Однако, несмотря на все достоинства применяемых в настоящее время широкозахватных посевных машин, они не лишены недостатков, которые связаны в основном с тем, что подача посевного материала к сошникам из бункера осуществляется с помощью пневмотранспортирования. Такое транспортирование и дальнейшее распределение посевного материала по ширине захвата машины осуществляется на больших скоростях. При этом происходит соударение семян друг с другом, а также о стенки пневмоматериалопроводов, особенно при изменении направления потока, при котором сила удара может достигать такой величины, что в семенах возникают трещины вплоть до отбивания зародышей. Существенным недостатком при пневмотранспортировании посевного материала, который обладает различными физико-механическими и аэродинамическими свойствами, является нестабильность параметров транспортирующего потока, что отрицательно влияет на такие

показатели качества, как устойчивость высева, неравномерность распределения материала вдоль ряда и по ширине захвата посевной машины. Механические же сеялки хотя и лишены этих недостатков, но менее производительны из-за небольшой ширины захвата и емкости бункера. Поэтому, несмотря на имеющиеся недостатки, из-за необходимости повышения производительности труда, доля посевных машин с пневматическими системами высева в республике составляет около 80 % от общей численности посевных машин.

Широкозахватные механические сеялки с централизованным бункером для семян и удобрений до настоящего времени пока не созданы: основная причина – отсутствие конструктивно-технологической схемы сеялки с механическим распределяющим рабочим органом, обеспечивающим равномерную, без повреждений, подачу посевного материала от бункера к каждому сошнику, при этом способной трансформироваться до допустимых размеров транспортной ширины при переездах по дорогам общего пользования.

Цель работы – изыскание конструктивно-технологической схемы широкозахватной механической сеялки с централизованным бункером.

### Основная часть

Поскольку одним из факторов, сдерживающих широкое распространение посевных машин с механическими высевающими системами, является их низкая производительность, обусловленная небольшой шириной захвата (не более 6 м) и объемом бункера, то с целью увеличения спроса на эти сеялки многие фирмы продолжают работать над их совершенствованием. И в первую очередь – над конструкцией бункеров повышенной вместимости и сцепных устройств для составления посевных агрегатов из нескольких механических сеялок. Так, в новых моделях сеялок Rapid 300-400 C/S Super XL фирмы Vaderstad и Gemini 6000 фирмы Tume (Финляндия) емкость бункера составляет 2 900–4 200 л (рисунок 1). Фирма Amazone на сеялках D-9-AD3 для увеличения емкости бункера использует насадки. Поэтому, например, емкость бункера 3-метровой сеялки, может варьировать от 450 до 1 000 л [3].

Для увеличения ширины захвата при посеве, например, сеялками СЗТМ-4Н производства ОАО «Витебский МРЗ» предлагается сцепка СС-12 (рисунок 2).

Однако, все это не позволяет создать действительно широкозахватную механическую сеялку.

Наряду с низкой производительностью применяемых в республике механических сеялок их существенным недостатком является и то, что они производят высев семян и минеральных удобрений в один рядок, а это не исключает их контакта друг с другом. Одно из требований, предъявляемых к сеялкам для посева с одновременным внесением минеральных удобрений, особенно удобрений, содержащих азот, – они должны укладывать семена и удобрения так, чтобы те не контактировали друг с другом (для исключения токсического эффекта). При этом глубина заделки удобрений должна быть на 1,5–2,0 см больше глубины заделки семян [4].



а



б

Рисунок 1 – Механическая сеялка Gemini 6000 фирмы Tume (Финляндия):

а – в работе; б – в транспортном положении



Рисунок 2 – Сцепка СС-12 + сеялка СЗТМ-4Н ОАО «Витебский МРЗ» (Беларусь)

Одним из требований проведения качественного сева является равномерное распределение семян по занимаемой ими площади. Площадь питания, а тем самым и урожай, в известной степени можно регулировать применением разных способов посева. Например, переход от обычного рядового к узкорядному посеву позволяет более равномерно распределять растения по площади. При этом сокращение расстояния между рядами на 10 мм дает прирост урожая до 1 %. Однако сдерживающими факторами применения такого посева являются конструктивные и технологические возможности существующих посевных машин [5]. Поэтому на дерново-подзолистых почвах Европейской территории наиболее общепринятой шириной междурядий посева зерновых является 125 мм.

Не решается в республике и вопрос совместных посевов из-за отсутствия посевных машин, позволяющих формировать многовидовые совместные посевы различных культур с разной нормой высева и глубиной заделки семян, а также размещением семян в отдельные рядки. Учеными РУП «НПЦ НАН Беларуси по земледелию» и ГНУ «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси» давно доказана необходимость использования таких посевов для решения важной задачи для животноводства страны – обеспечения белком. Так, например, посев бобовых культур (вика) в смеси с зерновыми позволяет на 25–50 % увеличить урожайность зеленой массы и в 1,5–2 раза повысить в ней содержание протеина [6]. Поэтому создание сеялки для совместных посевов позволит существенно усилить кормовую базу страны путем формирования высокопродуктивных посевов однолетних культур на зернофураж и зеленую массу, плантаций многолетних бобово-злаковых смесей, закладки сенокосов и пастбищ.

В результате проведенных исследований установлено, что для создания механической широкозахватной сеялки (не менее 6 м) наиболее приемлема схема с централизованной двухступенчатой подачей посевного материала, которая должна включать следующие элементы:

- централизованный бункер большего объема, с емкостями для минеральных удобрений и семян;
- транспортировка семян и минеральных удобрений из централизованного бункера должна осуществляться в отдельные ящики, и в каждом из них должны быть свои дозирующие устройства;
- транспортировка минеральных удобрений в отдельный ящик с дозирующими устройствами должна осуществляться самотеком;
- распределение семян и удобрений в ящиках по ширине должно осуществляться шнеками;
- дозирующие устройства должны быть катушечного типа, имеющие наибольшее распространение на механических сеялках, эксплуатируемых в хозяйствах республики;
- после дозирующих устройств семена и удобрения должны подаваться в отдельные семяпроводы и далее по ним – в сошники;
- сошники должны осуществлять укладку и заделку семян и удобрений, при этом удобрения должны заделываться на 2–3 см ниже семян и в стороне от них.

Конструктивная схема перспективной широкозахватной механической сеялки с централизованной двухступенчатой подачей семян и удобрений к сошникам представлена на рисунке 3.



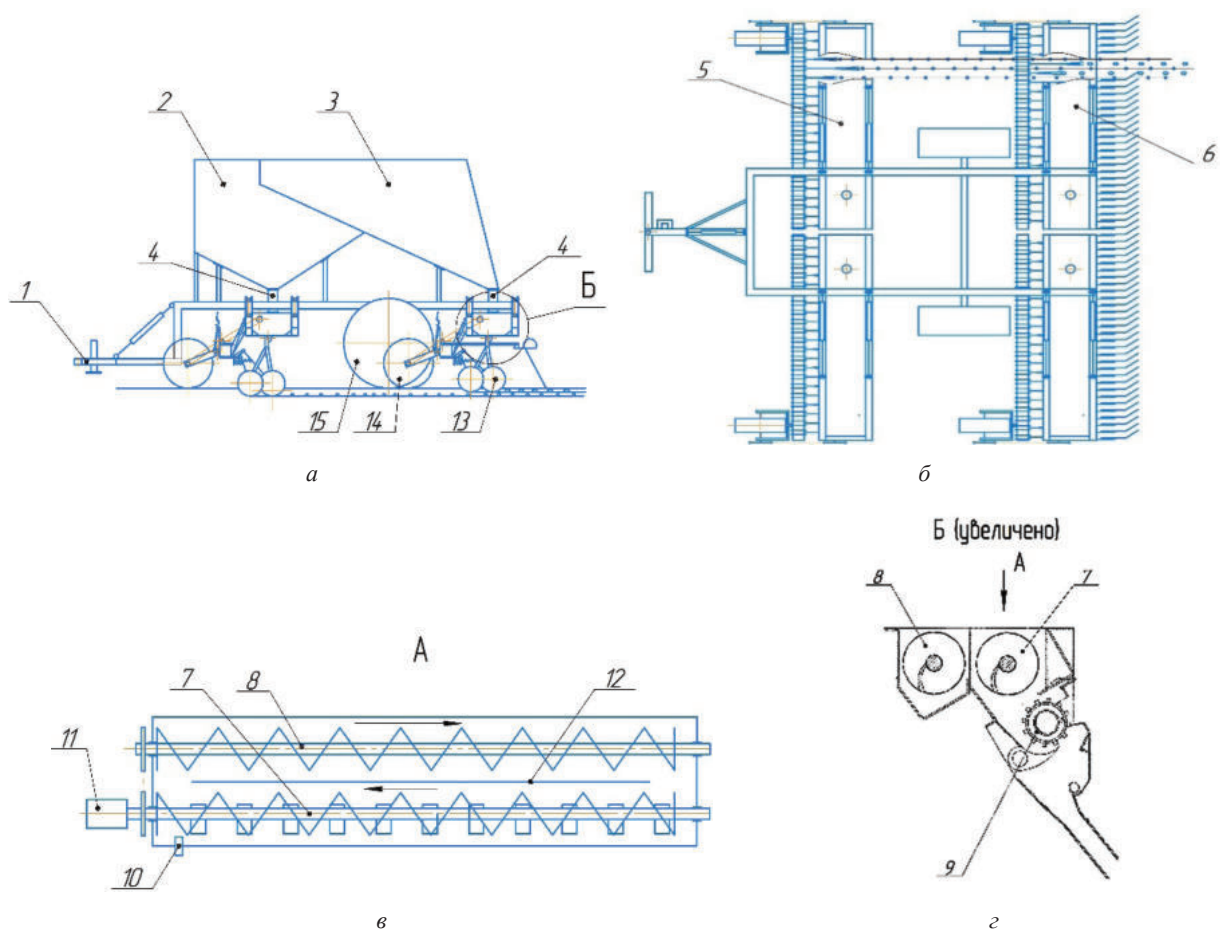


Рисунок 3 – Конструктивная схема широкозахватной механической сеялки:

*а* – вид сбоку; *б* – вид сверху; *в* – посевной ящик вид сверху; *г* – посевной ящик в разрезе; 1 – рама; 2 – емкость для туков (семян); 3 – емкость для семян; 4 – трубопроводы; 5 – передняя посевная секция; 6 – задняя посевная секция; 7 – распределяющий шнек; 8 – обратный шнек; 9 – катушечный дозатор; 10 – датчик уровня; 11 – гидромотор; 12 – перегородка; 13 – дисковые сошники; 14 – транспортно-технологические колеса; 15 – ходовые колеса

Широкозахватная механическая сеялка состоит из рамы 1, на которой установлен бункер, разделенный на две емкости: одна емкость для удобрений 2 (рисунок 3), другая емкость для семян 3. В нижней части емкости для удобрений расположен трубопровод 4, по которому удобрения под тяжестью своего веса поступают в ящик для удобрений (не показан). Семена из емкости 3 по трубопроводу 4 самотеком поступают в семенной ящик (не показан). Семена и удобрения в ящиках по их ширине распределяются посредством распределяющего шнека 7 и обратного шнека 8. Шнеки 7, 8 приводятся в работу гидромотором 11. В начале заполнения ящиков шнеки 7, 8 работают от гидромотора 11, после достижения семян и удобрений датчика уровня 10, происходит остановка работы гидромотора 11. Далее привод шнеков 7, 8 осуществляется от транспортно-технологического колеса 14 через цепную передачу (не показано). Использование шнеков 7, 8 разнонаправленного вращения позволяет равномерно распределить семена и удобрения по ширине ящиков, а также исключить создание подпора в них. За счет того, что шнеки 7, 8 практически служат «ворошилкой» и между ними и стенками ящиков имеются зазоры, исключается возможность дробления семян и минеральных удобрений.

Ящики разделены на две половины перегородкой 12. В одной из половин ящиков, в их нижней части, находится катушечный дозатор 9, который осуществляет высев семян и минеральных удобрений. После дозирующего устройства по семяпроводам (не показаны), семена и удобрения поступают в дисковые сошники 13, которые осуществляют их посев и заделку, при этом удобрения заделываются на 2–3 см ниже семян и в стороне от них. В работе сеялка опирается на хо-



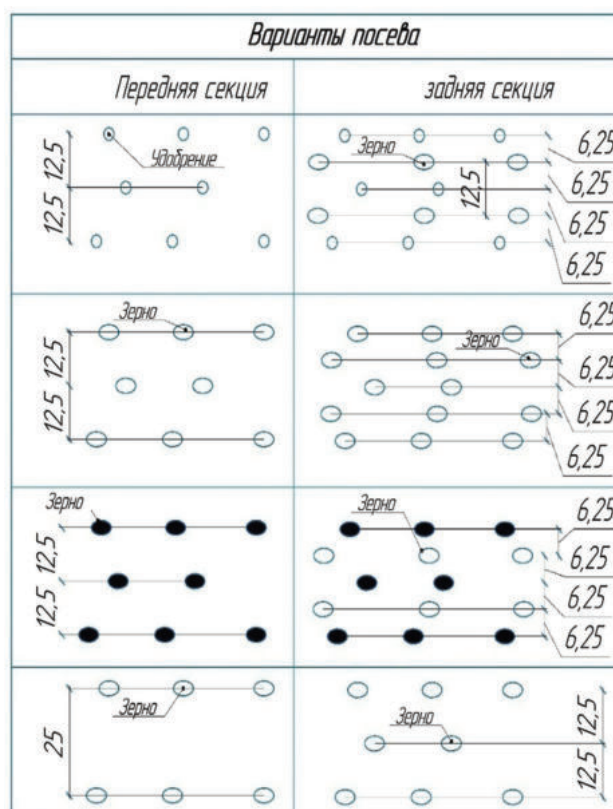


Рисунок 4 – Технологические схемы посевов

вые колеса 15 и транспортно-технологические колеса 14. Складывание-раскладывание посевных ящиков при переводе сеялки из рабочего положения в транспортное и наоборот производится с помощью гидроцилиндров (не показаны).

В данной конструктивной схеме предлагается использовать стандартные дозирующие устройства катушечного типа, которые устанавливаются на механических сеялках, производимых в Беларуси.

Выполнение сеялки по предложенной схеме позволяет повысить ее производительность как за счет увеличения ширины захвата, так и за счет применения централизованного бункера большого объема. При этом повышению производительности будет способствовать и быстрый перевод сеялки из транспортного положения в рабочее и наоборот. Кроме того, применение бункера, разделенного на две емкости, позволяет расширить функциональные возможности сеялки, т. е. осуществлять не только рядовой посев с междурядьем 12,5 см с внесением в междурядья минеральных удобрений, но и узкорядный с междурядьем 6,25 см посев семян как одной культуры, так и разных культур (совместный посев). Возможные технологические схемы посевов представлены на рисунке 4.

Поступление посевного материала в емкости для туков/семян самотеком позволяет избежать их повреждения на пути транспортирования из бункера к катушечному дозатору. За счет наличия большего зазора между стенками ящика для туков/семян и шнеком исключается возможность защемления посевного материала и его дробления. Все это позволяет выполнять процесс посева в соответствии с агротребованиями.

### Заключение

1. Обоснована конструктивно-технологическая схема перспективной широкозахватной механической сеялки, которая имеет следующие отличительные особенности: применен централизованный бункер большого объема с двумя емкостями для посевного материала; подача посевного

материала из централизованного бункера в отдельные ящики осуществляется самотеком; дозирование посевного материала из ящиков осуществляется индивидуально для каждого сошника.

2. Предложенная конструктивно-технологическая схема позволяет создавать высокопроизводительные механические сеялки с централизованным бункером большого объема, которые способны быстро трансформироваться до допустимых размеров транспортной ширины при переездах по дорогам общего пользования. При необходимости, можно создавать сеялки, которые будут обеспечивать как рядовой посев с междурядьем 12,5 см с внесением минеральных удобрений, так и узкорядный посев с междурядьем 6,25 см одной или разных культур.

#### **Список использованных источников**

1. О Государственной программе «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 1 февр. 2021 г. № 59 / Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Минск, 2003–2025. – URL: <https://www.mshp.gov.by/documents/ab2025.pdf> (дата обращения: 20.01.2025).
2. Сеялка пневматическая С-9 / Н. Д. Лепешкин, А. Н. Смирнов, Н. Ф. Сологуб, С. В. Савчук // Сельскохозяйственная научно-техническая и рыночная информация. – 2013. – № 4. – С. 39–42.
3. Анализ посевной части почвообрабатывающе-посевных агрегатов и ее рабочих органов / Н. Д. Лепешкин, А. А. Точицкий, А. Л. Медведев, Ю. Л. Салапура // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2010. – Вып. 44. – Т. 1. – С. 74–82.
4. Машины посевные и посадочные. Правила установления показателей назначения: ТКП 078-2007. – Введ. 06.08.2007. – Минск : Беларус. научн. ин-т внедрения новых форм хозяйствования в АПК, 2007. – 40 с.
5. Лепешкин, Н. Д. Агротехнические требования в аспекте обработки почвы и посева / Н. Д. Лепешкин, С. Ф. Лойко // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. РУНИП «ИМСХ НАН Беларуси». – Минск, 2006. – Вып. 40. – С. 60–67.
6. Физиолого-экологические основы оптимизации продукционного процесса агрофитоценозов (поликультура в растениеводстве) / В. Н. Прохоров, Н. А. Ламан, К. Г. Шашко, В. М. Кравченко. – Минск : Право и экономика, 2005. – 370 с.

Н. Д. Лепешкин<sup>1</sup>, В. В. Мижурин<sup>1</sup>, Ю. В. Синяк<sup>2</sup>

<sup>1</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: mehposev@mail.ru

<sup>2</sup>УО «Белорусский государственный аграрный университет»

г. Минск, Республика Беларусь

## К ОБОСНОВАНИЮ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ И ТИПА РАБОЧИХ ОРГАНОВ АГРЕГАТА ДЛЯ ОСНОВНОЙ БЕЗОТВАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

*Аннотация.* В статье приведено обоснование технологического процесса, принципиальной схемы и типа рабочих органов перспективного агрегата почвообрабатывающего модульного для основной безотвальной обработки почвы. Агрегат должен иметь три установленных в следующей последовательности модуля: первый – измельчающий модуль с дисковыми сферическими или волнистыми дисками; второй – рыхлительный, с рабочими органами чизельного типа; третий – выравнивающе-прикатывающий модуль с выравнивающими рабочими органами и прикатывающими катками.

*Ключевые слова:* почвообрабатывающий агрегат, принципиальная схема, почвообрабатывающий модуль, рыхлительные рабочие органы, дисковые рабочие органы, выравнивающе-прикатывающие рабочие органы.

N. D. Lepeshkin<sup>1</sup>, V. V. Mizhurin<sup>1</sup>, Y. V. Sinyak<sup>2</sup>

<sup>1</sup>SUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: mehposev@mail.ru

<sup>2</sup>IE “Belarusian State Agrarian Technical University”

Minsk, Republic of Belarus

## ON THE JUSTIFICATION OF THE PRINCIPAL DIAGRAM AND TYPE OF WORKING ENGINES OF THE UNIT FOR BASIC NON-MILLBOARD SOIL TILLAGE

*Abstract.* The article provides a rationale for the technological process, schematic diagram and type of working parts of a promising modular tillage unit for basic non-moldboard tillage. The unit must have three modules installed in the following sequence: in front – a grinding module with spherical or wavy disks, then – a loosening module with chisel-type working bodies, at the back – a leveling and compacting module with leveling working bodies and compacting rollers.

*Keywords:* soil-cultivating unit, schematic diagram, soil-cultivating module, loosening working elements, disk working elements, leveling and compacting working elements.

### Введение

Одним из направлений совершенствования системы обработки почвы в современном земледелии, которая в основном базируется на отвальной обработке почвы и сопровождается увеличением мощности и производительности машин, является ее минимализация. Необходимость такой обработки почвы предусмотрена Национальным планом действий по предотвращению деградации земель (почв) на 2021–2025 гг., утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь 15 июня 2021 г. № 341 (пункт 19) [1].

Для осуществления безотвальных (минимальных) приемов обработки почвы в последние годы в республике разработан и освоен в производстве ряд комбинированных почвообрабатывающих агрегатов с дисковыми, рыхлительными и прикатывающими рабочими органами, выполняющих

в основном либо поверхностные и мелкие обработки, либо обычные и глубокие обработки почвы, что ведет к увеличению как парка сельхозмашин, так и тракторов для их агрегатирования. Поэтому требуется разработка и освоение агрегата почвообрабатывающего, обеспечивающего как мелкие, так и глубокие обработки.

В связи с этим целью исследований, представленных в данной статье, является обоснование для условий Республики Беларусь принципиальной схемы и типа рабочих органов агрегата почвообрабатывающего для основной безотвальной обработки почвы на глубину от 6 до 30 см.

### Основная часть

Агрегат почвообрабатывающий модульный должен применяться для основной безотвальной обработки почвы, в том числе и на склонах, под озимые, яровые, промежуточные культуры и под зябь при абсолютной влажности почвы не более 25 % и твердости не более 4,5 Мпа и обеспечивать глубину обработки от 6 до 30 см. При этом должно быть обеспечено полное подрезание стерни и сорных растений. Гребнистость поверхности почвы после прохода агрегата не должна превышать 4 см. Не менее 50 % пожнивных остатков должно быть заделано в слое почвы от 0 до 10 см. Плотность почвы в слоях (катки) должна быть 0,95–1,3 г/см<sup>3</sup>. Рабочие органы агрегата должны обеспечивать степень крошения почвы (размер комков – до 25 мм включительно) не менее 80 %. При этом не должно увеличиваться содержание эрозионно опасных частиц в слое 0–5 см. Забивание рабочих органов не допускается [2].

С учетом агротехнических требований разработаем технологический процесс основной обработки почвы.

На рисунке 1 представлена схема профиля необработанного поля, который включает:

- растительные остатки в виде стерни 1;
- полову и измельченную солому 2;
- пахотный слой 3;
- плужную подошву 4;
- подпахотный слой 5.

Технологический процесс, который должен выполнять агрегат, с учетом схемы профиля необработанного поля (рисунок 1) можно представить в виде схемы (рисунок 2), где выполнение процесса будет осуществляться дисковыми, рыхлительными и прикатывающими рабочими органами в несколько этапов. При выполнении этапа 1 (рисунок 2, а) дисковыми рабочими органами 1 производится мульчирующая обработка верхнего слоя почвы 2 на глубину  $a_1 < 12$  см.

На этом этапе происходит полное подрезание стерни и сорняков, а также их измельчение и перемешивание с почвой. При этом мульчирующая обработка производится равномерно по всей глубине слоя  $a_1$ .

На втором этапе (рисунок 2, б) рыхлительные рабочие органы 3 производят нарезание щелей 4 в пахотном слое на глубину  $a_2$  (до 20–22 см), а при необходимости (в случае наличия плужной подошвы) на глубину  $a_3$  (до 30 см).

Одновременно с нарезанием щелей производится крошение почвы на всю глубину щели под углом ( $\alpha$ ) к дну обрабатываемого слоя, равным примерно 45°. Поскольку щели нарезаются на определенном расстоянии друг от друга, то под дном борозды образуются неразрушенные гребни 5, которые способствуют накоплению влаги, особенно на склонах. Наряду с крошением, образованием щелей и гребней при выполнении этапа 2 происходит перемещение раскрошенной почвы на дневную поверхность поля. В результате образуются валики 6. Для обеспечения требуемой гребнистости поверхности поля и плотности в слоях производится 3-й (рисунок 2, в) и 4-й (рисунок 2, г) этапы. При выполнении этапа 3 дисковым 7 или другим рабочим органом производится выравнивание валиков 6 до гребнистости не более 7 см. Окончательное выравнивание поверхности до гребнистости ( $h$ ) не более 4 см, крошение (размер комков до 25 мм не менее 80 %) и уплотнение в слое (катки) до 0,95–1,3 г/см<sup>3</sup> производится при выполнении этапа 4 (рисунок 2, г) с помощью прикатывающих катков 8.

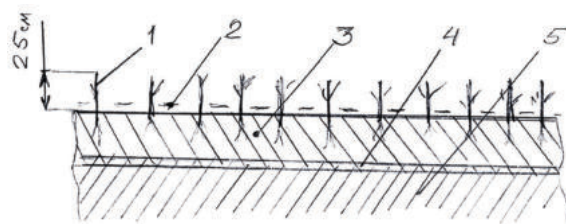


Рисунок 1 – Схема профиля необработанного слоя: 1 – стерня; 2 – солома, измельченная солома; 3 – пахотный слой; 4 – плужная подошва; 5 – подпахотный слой

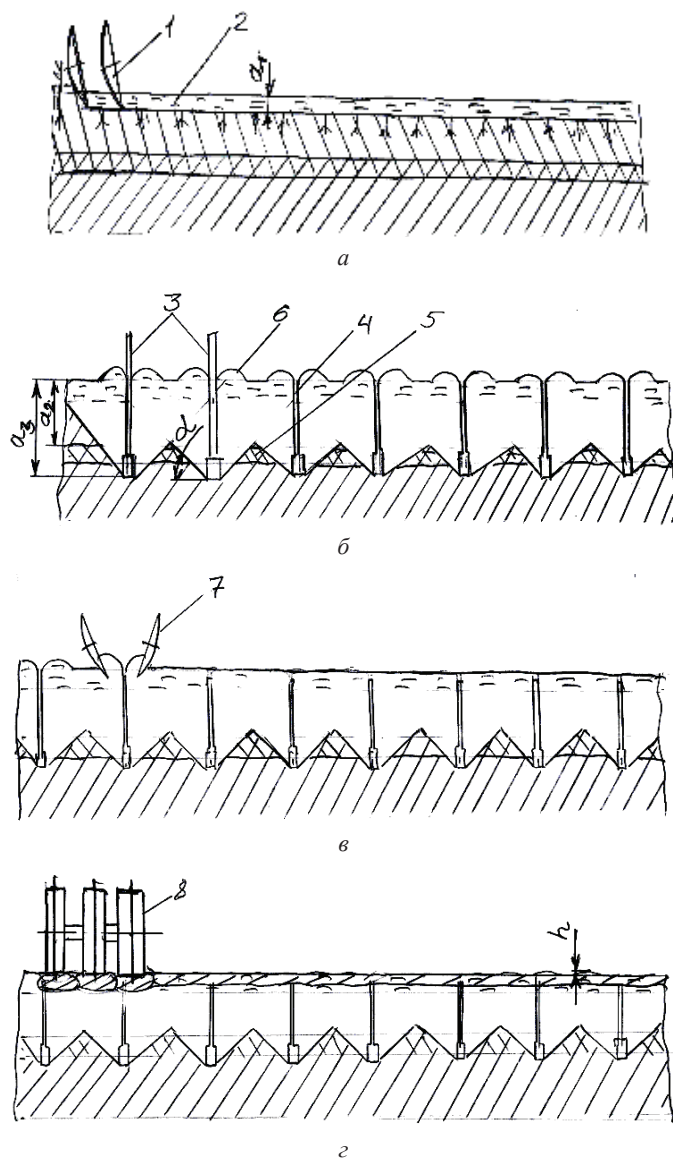


Рисунок 2 – Схемы выполнения технологического процесса основной безотвальной обработки почвы: а – этап 1; б – этап 2; в – этап 3; г – этап 4; 1 – дисковый рабочий орган; 2 – мульчирующий слой; 3 – рыхлительный рабочий орган; 4 – щель; 5 – гребень; 6 – валик; 7 – выравнивающий рабочий орган; 8 – прикатывающий рабочий орган

Анализ профиля (рисунок 2, г) после проведения четырех этапов показывает, что он будет содержать выровненный и подуплотненный верхний мульчирующий слой, состоящий из раскрошенной почвы, стерни, измельченной соломы и других растительных остатков. Ниже мульчирующего слоя почва будет раскрошена на требуемые фракции. При этом в обработанном слое будут присутствовать щели, по которым влага будет поступать в обработанный слой почвы, а на



дне обработанного слоя почвы будут присутствовать гребни, которые будут способствовать накоплению влаги.

В случае проведения только поверхностной обработки (до 8 см) этап 2 и 3 исключается, а при обработке профиля поля, на котором отсутствует растительность (зябь), исключается этап 1.

Предложенная рациональная технология основной безотвальной обработки почвы является базой для разработки принципиальной схемы агрегата.

К настоящему времени для безотвальной обработки почвы, в том числе и с участием РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» разработан ряд почвообрабатывающих агрегатов, способных за один проход выполнять рассмотренный выше технологический процесс основной обработки почвы. Такими агрегатами, производимыми в республике, являются диско-лаповые культиваторы КДЛ-4 (ОАО «Амкодор» – управляющая компания холдинга), чизельно-дисковый культиватор КЧД-6 (ОАО «Лунинецкий ремонтный завод»), агрегат безотвальной обработки почвы АБТ-4 (ОАО «Витебский МРЗ»), агрегат для минимальной обработки почвы АКМ-6 (ОАО «Пинский ЭРЗ»), АПМ-6 (ОАО «Бобруйсксельмаш»).

Анализ этих агрегатов показал, что основными признаками, характеризующими их принципиальные схемы, являются тип, последовательность размещения и взаиморасположение рабочих органов на раме, их связь с рамой и регулировки, а также комплектация агрегатов сменными рабочими органами.

Данные агрегаты, как правило, комплектуются дисковыми, рыхлительными, выравнивающими и прикатывающими рабочими органами. При этом (за исключением агрегата АПМ-6) их дисковые и рыхлительные рабочие органы бесменно устанавливаются на раме (рисунок 3) и имеют различную последовательность размещения.

На рисунке 3, *а* представлен чизельно-дисковый культиватор КЧД-6 с рыхлительными рабочими органами, размещенными перед дисковыми рабочими органами, на рисунке 3, *б* и 3, *в* – агрегаты АКМ-6 и АБТ-4 с рыхлительными рабочими органами, установленными между дисковыми рабочими органами, на рисунке 3, *г* – культиватор диско-лаповый КДЛ-4 с рыхлительными рабочими органами, установленными за дисковыми рабочими органами.

Наряду со схемами, которые предусматривают бесменную установку на раме дисковых и рыхлительных рабочих органов, определенный интерес представляет конструкция многофункционального агрегата АПМ-6, в которой возможна смена мест установки на несущей раме дисковых и рыхлительных рабочих органов (рисунок 4), что позволяет устанавливать на агрегате в зависимости от почвенных условий и фона блок рыхлительных рабочих органов после блока дисков и наоборот.

Вместе с тем практика использования в условиях Республики Беларусь агрегатов с различными схемами расстановки дисковых и рыхлительных рабочих органов показывает, что с учетом фитосанитарного состояния полей и обрабатываемых агрофонов наиболее приемлемой является схема, где дисковые рабочие органы установлены перед рыхлительными. Только при такой расстановке рабочих органов агрегат может обеспечить как качество, так и надежность выполняемого им технологического процесса при обработке засоренных агрофонов и агрофонов после уборки длинностебельных культур. Наряду с этим, дисковые рабочие органы при их одинаковом заглублении более интенсивно крошат неразрыхленный пласт, чем разрыхленный. Кроме того, такая схема наиболее полно обеспечивает выполнение предложенной выше технологии. Следует также отметить, что установка дисков перед рыхлительными рабочими органами предусматривает использование принципа послойной обработки почвы, что позволяет снизить тяговое сопротивление рыхлительных рабочих органов.

Что касается установки рыхлительных рабочих органов перед дисками, то она предпочтительнее только при обработке уплотненных почв (более 3,5 МПа), ввиду трудной заглубляемости дисков на таких почвах.

Агрегаты с рыхлительными рабочими органами, установленными между дисками (рисунок 2) также эффективны только при обработке уплотненных почв, в том числе и фонов с пожнивными остатками.



*а*



*б*



*в*



*г*

Рисунок 3 – Отечественные почвообрабатывающие агрегаты и культиваторы с разной последовательностью расположения рыхлительных и дисковых рабочих органов: *а* – культиватор чизельный КЧД-6; *б* – агрегат для минимальной обработки почвы АКМ-6; *в* – агрегат для безотвальной обработки почвы АБТ-4; *г* – культиватор диско-лаповый КДЛ-4



Рисунок 4 – Многофункциональный почвообрабатывающий агрегат АПМ-6

Таким образом, с учетом условий республики, где преобладают легкие почвы, а агрофоны в большинстве своем засорены неизмельченными растительными остатками, рыхлительные рабочие органы на новом агрегате следует устанавливать после дисковых, а для обработки уплотненных почв предусматривать возможность выглубления дисков.

Анализ импортных аналогов с рыхлительными рабочими органами, установленными после дисковых, например, культиватора Tiger TM (Horsch, Германия) и культиватора TopDown (Vaderstad, Швеция) показывает, что их отличительной особенностью является то, что они имеют модульную конструкцию, позволяющую производить во время работы отдельную регулировку глубины обработки дисковых и рыхлительных рабочих органов. При этом обработка дисковыми рабочими органами может производиться на глубину до 15 см, а рыхлительными – от 5 до 25 см (TopDown фирмы Vaderstad, Швеция) или от 5 до 35 см (Tiger TM фирмы Horsch, Германия). Кроме того, особенностью данных агрегатов является и то, что при необходимости два ряда передних дисков могут выглубляться.

Используя результаты анализа конструкций почвообрабатывающих агрегатов для основной обработки почвы, а также схему рационального технологического процесса основной безотвальной обработки почвы (рисунок 2), предлагаем принципиальную схему агрегата для безотвальной обработки почвы, которая изображена на рисунке 5.

Агрегат (рисунок 5) должен содержать три последовательно установленных модуля:

- I – измельчающий с дисковыми рабочими органами;
- II – рыхлительный с рыхлительными рабочими органами;
- III – выравнивающе-прикатывающий с выравнивающими и прикатывающими рабочими органами.

В последние годы создано значительное количество различных конструкций рабочих органов, которые можно использовать в модулях. Ранее проведенные исследования по выбору типа рабочих органов, которые изложены в работах [3–5] показывают, что с учетом достоинств и недостатков различных рабочих органов при комплектовании почвообрабатывающего агрегата для основной безотвальной обработки почвы целесообразно использовать следующие их типы.

Дисковые рабочие органы для работы в системе традиционного земледелия должны включать сферические вырезные диски, а для работы в системе почвозащитного земледелия включать волнистые диски, т. е. быть волнистого типа. При этом искривление волны должно проходить не от центра диска, а на некотором расстоянии по радиусу и под углом к нему. Рыхлительные рабочие органы должны быть чизельного типа и состоять из криволинейной жесткой стойки, наральника (долота) и съемной лапы, которая устанавливается при сплошной обработке почвы. Выравнивающие рабочие органы должны быть в виде вырезных дисков, подпружиненных планок или рессорных выравнивателей. Прикатывающие рабочие органы должны быть в виде кольчатого катка с U- или Т-образными кольцами.

Таким образом, обоснованные для условий Республики Беларусь принципиальная схема и тип рабочих органов, способных обеспечивать предъявляемые к ним требования, могут стать основой для разработки конструкции нового агрегата.

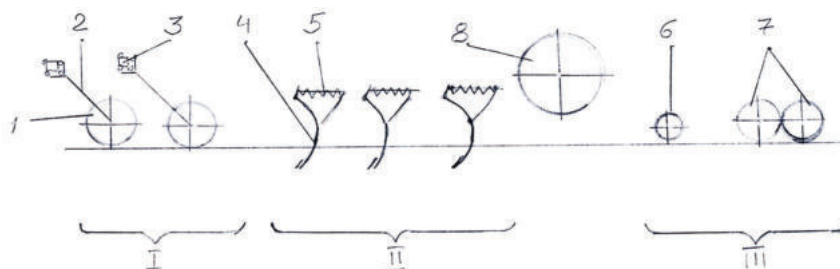


Рисунок 5 – Принципиальная схема модульного агрегата для безотвальной обработки почвы:  
 I – измельчающий модуль; II – рыхлительный модуль; III – выравнивающе-прикатывающий модуль; 1 – диск;  
 2 – стока; 3 – амортизатор; 4 – жесткая стойка; 5 – пружинная защита; 6 – выравнивающие рабочие органы;  
 7 – прикатывающие рабочие органы



## Заключение

В результате проведенных исследований по обоснованию принципиальной схемы и типа рабочих органов агрегата почвообрабатывающего модульного для безотвальной обработки почвы установлено, что агрегат должен содержать три последовательно установленных модуля:

- измельчающий с дисковыми рабочими органами в виде сферических или волнистых дисков;
- рыхлительный с рабочими органами чизеленного типа;
- выравнивающе-прикатывающий с выравнивающими рабочими органами и катками.

Конструктивными особенностями предложенной схемы агрегата являются:

1. Широкий диапазон глубины обработки (от 6 до 30 см), что увеличивает годовую загрузку агрегата и уменьшает номенклатуру агрегатов для основной безотвальной обработки почвы.

2. Модульная конструкция, где рабочие органы установлены на трех модулях: измельчающий с дисковыми рабочими органами; рыхлительный с чизельными рабочими органами и выравнивающе-прикатывающий с выравнивающими рабочими органами и катками. Такая конструкция позволяет комплектовать агрегат, в зависимости от условий, модулями с различными рабочими органами. Например, измельчающий модуль – сферическими или волнистыми дисками, выравнивающе-прикатывающий – кольчатыми или шинными катками.

3. Установка модуля с дисками перед модулем с рыхлительными рабочими органами обеспечивает послойное рыхление почвы, что снижает тяговое сопротивление агрегата. При этом обеспечивается надежная работа агрегата на почвах с большим количеством растительных остатков.

4. Предусмотрена возможность выглублять модуль с дисками, что позволяет использовать агрегат даже на почвах с твердостью более 3,5 МПа, т. е. расширяет его функциональные возможности.

5. При необходимости можно также отсоединять или выглублять выравнивающе-прикатывающий модуль для подготовки почвы на зябь.

6. Имеется возможность отдельного регулирования глубины хода рабочих органов, в том числе и во время работы агрегата.

## Список использованных источников

1. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 15 июня 2021 г. № 341 / Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22100341> (дата обращения: 27.12.2024).

2. ТКП 079-2007 (02150) СТОАИСТ 10 4.6-2003. Сельскохозяйственная техника. Машины почвообрабатывающие. Правила установления показателей назначения. – Минск : РУП «Белорусский научный институт внедрения новых форм хозяйствования в АПК». – 2007. – 27 с.

3. Лепешкин, Н. Д. К обоснованию типа дискового рабочего органа почвообрабатывающего агрегата для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях / Н. Д. Лепешкин // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2022. – Вып. 55. – С. 148–157.

4. Лепешкин, Н. Д. К обоснованию типа рыхлительных рабочих органов почвообрабатывающего агрегата для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2022. – Вып. 55. – С. 138–147.

5. Лепешкин, Н. Д. К обоснованию типа катковых рабочих органов почвообрабатывающего агрегата для влагозадержания и влагонакопления на склоновых землях / Н. Д. Лепешкин, В. К. Клыбик, В. В. Мижурин // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2022. – Вып. 55. – С. 121–127.

Н. Д. Лепешкин<sup>1</sup>, В. В. Мижурин<sup>1</sup>, Ю. В. Синяк<sup>2</sup>

<sup>1</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: mehposev@mail.ru

<sup>2</sup>УО «Белорусский государственный аграрный университет»

г. Минск, Республика Беларусь

## К ОБОСНОВАНИЮ КОНСТРУКТИВНОЙ СХЕМЫ АГРЕГАТА ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО С ИЗМЕНЯЕМОЙ ШИРИНОЙ ЗАХВАТА

*Аннотация.* В статье представлена конструктивная схема почвообрабатывающего агрегата с изменяемой в зависимости от глубины обработки почвы шириной захвата.

*Ключевые слова:* почвообрабатывающий агрегат, конструктивная схема, глубина обработки, ширина захвата.

N. D. Lepeshkin<sup>1</sup>, V. V. Mizhurin<sup>1</sup>, Yu. V. Sinyak<sup>2</sup>

<sup>1</sup>SUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: mehposev@mail.ru

<sup>2</sup>IE "Belarusian State Agrarian Technical University"

Minsk, Republic of Belarus

## TO THE JUSTIFICATION OF THE CONSTRUCTION DIAGRAM OF THE UNIT TILLAGE WITH VARIABLE WORKING WIDTH

*Abstract.* The article presents a design diagram of a tillage unit with a working width that varies depending on the depth of tillage.

*Keywords:* tillage unit, design diagram, tillage depth, working width.

### Введение

В соответствии с требованиями ГОСТ [1] обработка почвы в зависимости от глубины подразделяется на поверхностную (до 8 см), мелкую (8–16 см), основную (16–24 см) и глубокую (более 24 см). В связи с этим многие машины для обработки почвы проектировались только для обработки почвы в заданном диапазоне и имели постоянный набор рабочих органов. В настоящее время одной из тенденций совершенствования почвообрабатывающей техники наряду с возможностью установки различных сменных наборов рабочих органов является и расширение диапазона глубины обработки. Так, например, фирма Horsch (Германия) производит культиватор Tigger ТМ, глубина обработки которого колеблется от 5 до 35 см, фирма Vaderstad (Швеция) – культиватор TopDown с глубиной обработки от 5 до 25 см. Аналогичные почвообрабатывающие агрегаты с широким диапазоном глубины обработки почвы производятся и в Республике Беларусь, например, культиватор КПП-6,2 (ОАО «Амкорд – управляющая компания холдинга»), у которого этот показатель колеблется от 3 до 35 см. Однако, несмотря на возможность установки сменных рабочих органов и широкий диапазон глубины обработки, общим недостатком новых агрегатов является то, что они имеют постоянную ширину захвата. Поэтому, чтобы производить работы разные по глубине обработки почвы, требуется наличие тракторов различной мощности. Например, для агрегатов Tigger ТМ шириной захвата 6 м требуемая мощность трактора колеблется от 300 до 550 л. с. Следовательно, при такой конструкции агрегатов для их загрузки при мелких обработках в хозяйстве необходимо иметь трактора меньшей мощности, а при глубоких – большей.



В связи с этим, перспективным направлением, обеспечивающим наибольшую загрузку тракторов одной мощности, является создание агрегатов с изменяемой шириной захвата и набором рабочих органов, позволяющих производить глубокие и мелкие обработки почвы на различных агрофонах.

Цель исследований – обоснование конструктивной схемы почвообрабатывающего агрегата с изменяемой в зависимости от глубины обработки почвы шириной захвата.

### Основная часть

Проведенный анализ существующих конструктивных схем, а также патентов почвообрабатывающих агрегатов с различными схемами [2] позволил обосновать и запатентовать конструкцию почвообрабатывающего агрегата, обеспечивающую изменение его ширины захвата в зависимости от глубины обработки [3].

Конструктивно агрегат состоит из рамы 1 (рисунок 1, а), соединенной с ней с возможностью поворота сани 2, транспортной тележки 3, одной левой и одной правой боковых секций 4 с почвообрабатывающими органами 5, установленных в задней и/или передней части боковых секций 4 или рамы 1 агрегата, механизмов регулирования глубины обработки почвы и/или прикатывания почвы в виде катков 6, и/или иных не приводных рабочих органов (не показаны), и/или опорных колес 7.

Боковые секции 4 выполнены в виде заменяемых модулей 8 с закрепленными на них почвообрабатывающими органами 5. Причем заменяемые модули 8 выполнены в виде сменных подмодулей 9, на которые закреплены почвообрабатывающие органы 5 в виде дисков и/или рыхлящих лап (не показаны), или в виде дисков и стрелчатых лап (не показаны), или в виде дисков и глубокорыхлителей (не показаны), или в виде рыхлящих лап и глубокорыхлителей, или в виде стрелчатых лап и глубокорыхлителей (не показаны). На раме 1 между боковыми секциями 4 установлена средняя секция 10, а к свободным концам боковых секций 4 присоединены с возможностью поворота периферийные секции 11 (рисунок 1, б). Боковые секции 4 и периферийные секции 11 соединены с возможностью их снятия (рисунок 1, в) или установки только боковых секций 4 (рисунок 1, г) или только периферийных секций 11 (рисунок 1, д).

Силовой механизм поворота сани 2 выполнен в виде гидроцилиндра 12, а транспортной тележки 3 – в виде гидроцилиндра 13. Силовой механизм складывания боковых секций 4 и периферийных секций 11 выполнен в виде гидроцилиндров 14 и 15.

Работает почвообрабатывающий агрегат следующим образом. Перед началом работы в зависимости от почвенного фона и вида выполняемой работы с учетом глубины обработки на заменяемые модули 8 устанавливают подмодули 9 с соответствующими почвообрабатывающими органами 5. При этом для обработки на глубину до 8 см подмодули 9 устанавливают на среднюю 10, боковые 4 и периферийные 11 секции (рисунок 1, б), для обработки на глубину 8–16 см – на среднюю 10 и боковые 4 секции (рисунок 1, г), на глубину 16–24 см – на среднюю 10 и периферийную 11 секции (рисунок 1, д), а для обработки на глубину более 24 см – на среднюю секцию 10 (рисунок 1, в). Далее агрегат присоединяют к трактору (не показано) с помощью сани 2 и подключают гидросистему агрегата (не показана) к гидросистеме трактора (не показана). Перевод агрегата с рабочего положения в транспортное осуществляется следующим образом. Сначала транспортная тележка 3 с помощью гидроцилиндра 13 опускается в нижнее положение, затем в зависимости от комплектации агрегата с помощью гидроцилиндров 14 и 15 производится последовательное складывание периферийных 11 и боковых 4 секций или с помощью гидроцилиндров 14 – только боковых секций 4 (рисунок 1, г) или с помощью гидроцилиндров 15 – только периферийных секций 11 (рисунок 1, д). Перевод агрегата из транспортного положения в рабочее осуществляется в обратной последовательности.

Выравнивание рамы 1 агрегата и регулировка глубины обработки почвообрабатывающих органов 5 осуществляется путем поворота сани 2 и подъема или опускания передней части агрегата с помощью опорных колес 7 и задней части – с помощью прикатывающих катков 6.

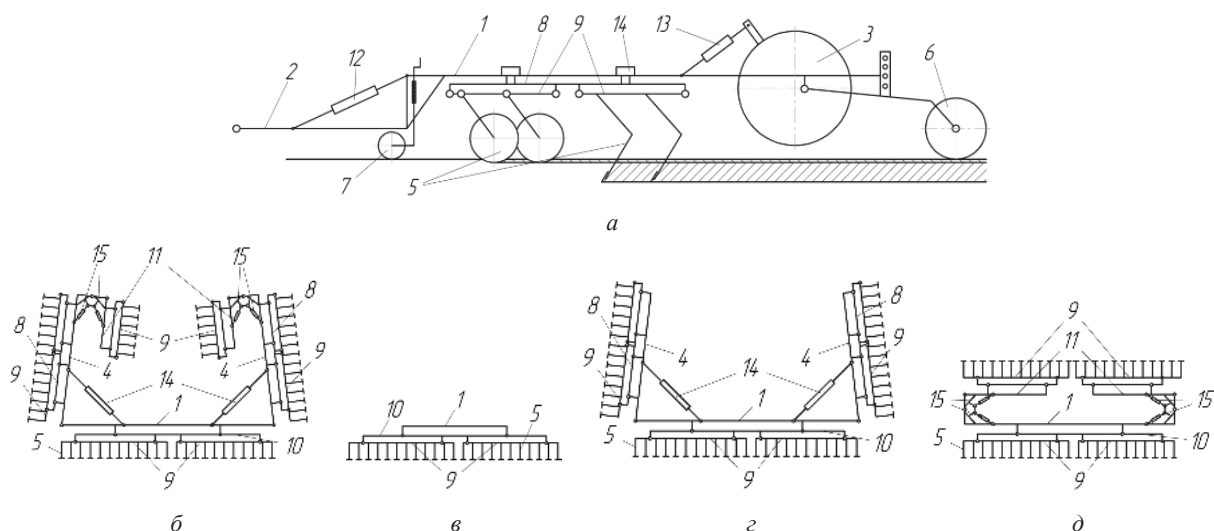


Рисунок 1 – Схема почвообрабатывающего агрегата с изменяемой шириной захвата: *а* – агрегат, вид сбоку; *б* – агрегат с присоединенными боковыми и периферийными боковыми секциями, вид сзади; *в* – агрегат с отсоединенными боковыми секциями, вид сзади; *г* – агрегат с присоединенными боковыми секциями, вид сзади; *д* – агрегат с периферийными секциями, вид сзади; 1 – рама; 2 – снига; 3 – транспортная тележка; 4 – боковая секция; 5 – почвообрабатывающие органы; 6 – каток; 7 – опорные колеса; 8 – заменяемый модуль; 9 – сменный подмодуль; 10 – средняя секция; 11 – периферийная секция; 12, 13, 14, 15 – гидроцилиндр



Рисунок 2 – Агрегат почвообрабатывающий модульный к тракторам мощностью 400–450 л. с.

При движении агрегата по полю почвообрабатывающие органы 5 заглубляются в почву и активно ее рыхлят на установленную глубину. После рыхления почва прикатывается и выравнивается прикатывающими катками 6. При этом поверхностная обработка на глубину до 8 см преимущественно осуществляется почвообрабатывающими органами 5 в виде стрелчатых лап и/или дисков, мелкая обработка на глубину 8–16 см – в виде дисков, рыхлящих лап или стрелчатых лап, обычная обработка на глубину 16–24 см – в виде дисков, рыхлящих или стрелчатых лап и глубокая обработка на глубину более 24 см – в виде дисков и глубокорыхлителей, в виде рыхлящих лап и глубокорыхлителей, в виде стрелчатых лап и глубокорыхлителей.

С учетом сказанного РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» совместно с ООО «Биоком Технологии» разработан и изготовлен опытный образец агрегата почвообрабатывающего модульного к тракторам мощностью 400–450 л. с. для основной безотвальной обработки почв на глубину 6–40 см и изменяемой шириной захвата 4, 6 и 8 м (рисунок 2).

### Заключение

Предложена конструктивная схема, позволяющая создавать почвообрабатывающие агрегаты с заменяемыми модулями, на которые могут быть установлены почвообрабатывающие органы, обеспечивающие различную глубину обработки. При этом агрегат, за счет установки модулей

с почвообрабатывающими органами для рыхления на глубину до 8 см на среднюю, боковые и периферийные секции; модулей для рыхления на глубину 8–12 см – на среднюю и боковые секции; модулей для рыхления на глубину 12–16 см на среднюю – на среднюю и периферийные секции; а также модулей для рыхления на глубину более 24 см только на среднюю секцию, позволит производить глубокие и мелкие обработки почвы на различных агрофонах с различной шириной захвата.

#### **Список использованных источников**

1. Земледелие. Термины и определения : ГОСТ 16265-89. – М. : Издательство стандартов, 1990. – 21 с.
2. Обоснование параметров рабочих органов и конструктивной схемы почвообрабатывающего агрегата для влагонакопления и влагозадержания на склоновых землях : отчет о НИР (заключ.) / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» ; рук. Н. Д. Лепешкин ; исполн.: Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин. – Минск, 2023. – 309 с. – № ГР20211100.
3. Патент 13252 Республика Беларусь, МПК А01В 49/02, А01В 59/04. Универсальный почвообрабатывающий агрегат : № u 20220217 : заявлено 19.09.2022 : опубл. 30.08.2023 / Лепешкин Н. Д., Мижурин В. В., Комлач Д. И. ; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства».

**Н. Д. Лепешкин<sup>1</sup>, В. В. Микульский<sup>1</sup>, В. Н. Скорын<sup>1</sup>, П. П. Бегун<sup>1</sup>,  
В. В. Мижурин<sup>1</sup>, Ю. В. Синяк<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: mehposev@mail.ru

<sup>2</sup>УО «Белорусский государственный аграрный университет»  
г. Минск, Республика Беларусь

### **АГРЕГАТ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИЙ МОДУЛЬНЫЙ С ИЗМЕНЯЕМОЙ ШИРИНОЙ ЗАХВАТА АМП-6**

*Аннотация.* В статье дано техническое описание и приведены фактические значения агротехнических показателей и показателей назначения агрегата почвообрабатывающего модульного для основной безотвальной обработки почвы к тракторам мощностью 400 и более л. с, конструкция которого позволяет вести обработку почвы на глубину от 6 до 40 см и, в зависимости от глубины обработки, устанавливать ширину захвата 4, 6 или 8 м.

*Ключевые слова:* почвообрабатывающий агрегат, техническое описание, показатели назначения, агротехнические показатели.

**N. D. Lepeshkin<sup>1</sup>, V. V. Mikulsky<sup>1</sup>, V. N. Skoryn<sup>1</sup>, P. P. Begun<sup>1</sup>, V. V. Mizhurin<sup>1</sup>, Y. V. Sinyak<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>SUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: mehposev@mail.ru

<sup>2</sup>IE "Belarusian State Agrarian Technical University"  
Minsk, Republic of Belarus

### **SOIL CULTIVATING UNIT MODULAR WITH VARIABLE WORKING WIDTH AMP-6**

*Abstract.* The article provides a technical description and provides the actual values of agrotechnical indicators and indicators of the purpose of a modular tillage unit for basic non-moldboard tillage for tractors with a power of 400 hp or more, the design of which allows tillage to a depth of 6 to 40 cm and, depending on the processing depth, set the working width to 4, 6 or 8 meters.

*Keywords:* tillage unit, technical description, purpose indicators, agrotechnical indicators

### **Введение**

В последние годы в Республике Беларусь наряду с отвальной обработкой почвы все более широкое применение получает безотвальная обработка. На основании результатов полевых опытов, проведенных аграрной наукой республики за последние 10 лет, и с учетом почвенно-климатических условий пахотных земель, а также биологических особенностей сельскохозяйственных культур и их размещения в севообороте, возможный объем применения безотвальных обработок может составить около 64 % [1–4] от всех видов обработки почвы. Важнейшим условием успешного повсеместного внедрения безотвальной обработки почвы является создание соответствующих технических средств для ее осуществления.

В настоящее время в республике разработан и освоен в производстве ряд комбинированных почвообрабатывающих агрегатов для безотвальной обработки почвы, в том числе и модульных с изменяемой глубиной обработки от 3 до 35 см (КГП-6,2). Однако все эти агрегаты созданы к тракторам мощностью до 350 л. с. Поскольку в настоящее время в республике имеются трактора зарубежного производства мощностью 400 л. с. и более, а также с учетом того, что ОАО «Минский тракторный завод» ведет разработку аналогичных по мощности тракторов, то для повыше-

ния производительности безотвальной обработки почвы и загрузки данных тракторов требуется разработка и освоение в производстве нового почвообрабатывающего агрегата.

В соответствии с вышесказанным разработка отечественного почвообрабатывающего модульного агрегата к тракторам мощностью 400 л. с. и более для основной безотвальной обработки почвы с широким диапазоном изменяемой глубины обработки является актуальной задачей.

### Основная часть

Для повышения производительности машинно-тракторного агрегата при осуществлении основной безотвальной обработки почвы и загрузки тракторов мощностью 400 и более л. с. РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» совместно с ООО «Биоком Технологии» разработан и изготовлен опытный образец агрегата почвообрабатывающего модульного АМП-6, а также проведены его предварительные испытания с целью определения показателей назначения и агротехнических показателей [5].

Для обработки почвы на глубину от 27 до 40 см агрегат имеет рабочую ширину захвата 4 м, для обработки почвы на глубину 12 – 27 см – 6 м, а для обработки почвы на глубину от 6 до 12 см – 8 м.

Конструктивно агрегат включает раму 1 (рисунок 1) со спицей 2, почвообрабатывающими модулями 3, 4, 5 и колесным ходом 6, гидрооборудование и электрооборудование.

На раме 1 агрегата почвообрабатывающие модули располагаются в следующей последовательности: впереди измельчающий модуль 3 с дисковыми рабочими органами 7, далее – рыхлительный модуль 4 с чизельными рабочими органами 8 и выравнивающе-прикатывающий модуль 5 с выравнивающими рабочими органами 9 и прикатывающими катками 10.

Колесный ход 6 установлен за рыхлительным модулем 4. Колесный ход 6 оборудован колесами с широкими шинами, обеспечивающими устойчивость агрегата при транспортировании, а также тормозами, в том числе и стояночным тормозом. Конструкция привода тормозов обеспечивает затормаживание агрегата в случае аварийного отцепления агрегата от трактора.

Рама 1 агрегата состоит из центральной рамы, на которой установлены сница 2 и колесный ход 6. При ширине захвата агрегата 6 м к раме 1 крепятся две боковые рамы. При ширине захвата 8 м к боковым рамам дополнительно крепятся две периферийные рамы. На боковых рамах предусмотрена установка передних регулируемых колес.

Сница 2 шарнирно прикреплена к раме 1 агрегата и имеет поворотное устройство 11 для присоединения к нижним тягам трактора и устройство для выравнивания рамы 1 в виде гидроцилиндра 12.

Гидросистема агрегата предназначена для перевода его из транспортного положения в рабочее и наоборот, а также для регулирования глубины хода рабочих органов 7, 8, 9, 10. Гидросистема агрегата соединена с гидросистемой трактора с помощью быстросъемных муфт. Регулировка глубины хода рабочих органов 7, 8, 9, 10, подъем-опускание колесного хода 6, а также складывание и раскладывание боковых и периферийных рам (при их установке) производится с помощью гидроцилиндров 12, 13, 14, 15, управление которыми осуществляется из кабины трактора через пульт управления.

Электрооборудование предназначено для обозначения габаритов, указания поворотов и стоп-сигнала при транспортировании агрегата по дорогам. Сигналы электрооборудования аналогичны сигналам электрооборудования трактора. На агрегате предусмотрено устройство для укладки отсоединенных гидравлических и пневматических рукавов и электрических кабелей, когда агрегат не соединен с трактором.

Измельчающий модуль (рисунок 2) представляет собой раму 1 сварной конструкции с параллелограммным механизмом подъема-опускания дисковых рабочих органов 7 (рисунок 1). Дисковые рабочие органы 7 (рисунок 1) выполнены в виде сферических дисков 2 (рисунок 2), и расположены в два ряда в противоположных направлениях. Сферические диски 2 выполнены вырезными и установлены на жесткой стойке 3, с упругой защитой 4 в виде резинового амортизатора.



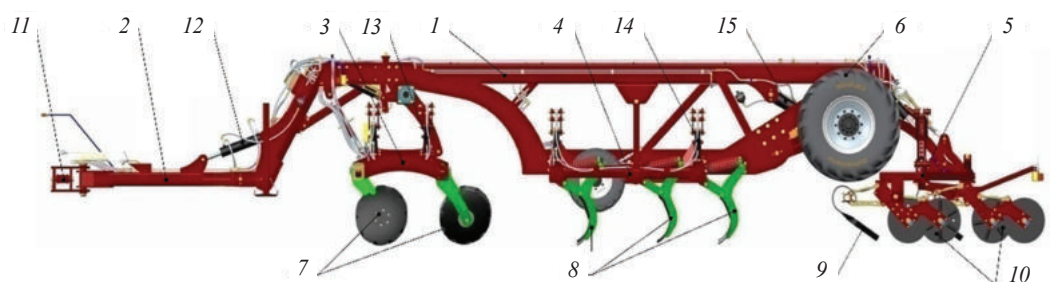


Рисунок 1 – Агрегат почвообрабатывающий модульный АМП-6: 1 – рама; 2 – сница; 3 – измельчающий модуль; 4 – рыхлительный модуль; 5 – выравнивающе-прикатывающий модуль; 6 – колесный ход; 7 – дисковые рабочие органы; 8 – чизельные рабочие органы; 9 – выравнивающие рабочие органы; 10 – прикатывающие катки; 11 – поворотное устройство; 12, 13, 14, 15 – гидроцилиндры



Рисунок 2 – Измельчающий модуль (установлен на центральной раме): 1 – рама; 2 – сферический диск; 3 – жесткая стойка; 4 – упругая защита (резиновый амортизатор)

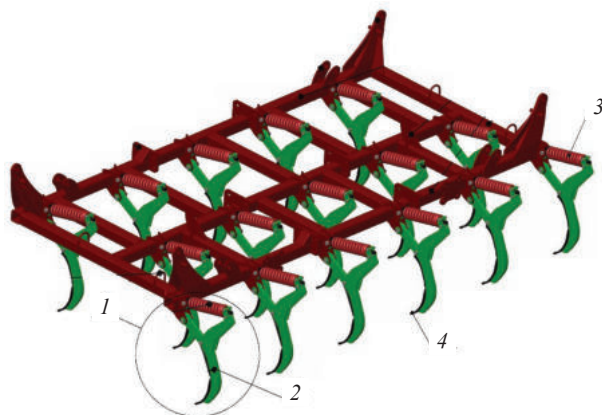


Рисунок 3 – Рыхлительный модуль: 1 – чизельный рабочий орган; 2 – стойка; 3 – пружинная защита; 4 – долото

Рыхлительный модуль (рисунок 3) включает три ряда чизельных рабочих органов 1, состоящих из криволинейной жесткой стойки 2 с пружиной защитой 3 и сменных долот 4 (для рыхления на глубину до 40 см) или лап (для рыхления на глубину до 12 см).

Выравнивающе-прикатывающий модуль (рисунок 4) представляет собой сваренные между собой балки 1, к одной из которых крепятся выравнивающие рабочие органы 9 (рисунок 1) в виде вырезных подпружиненных дисков или рессорных выравнивателей 2 (рисунок 4), а к другой – прикатывающие катки 3 с U- или  $\perp$ -образными кольцами. Выравнивающие рабочие органы 9 (рисунок 1) располагаются по краям канавок, остановленных последним рядом чизельных рабочих органов 1 (рисунок 3). Прикатывающие катки 3 (рисунок 4) располагаются в два ряда.

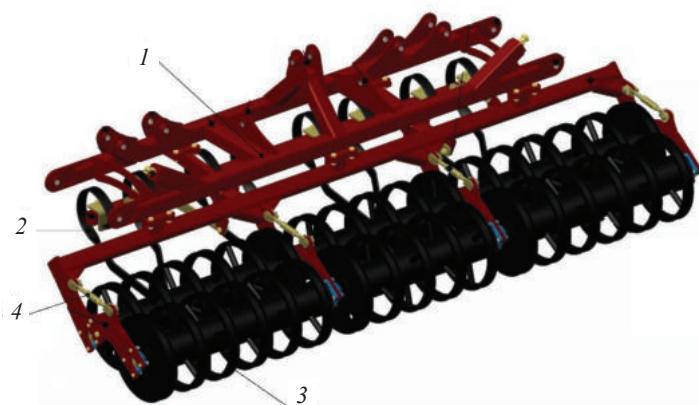


Рисунок 4 – Выравнивающе-прикатывающий модуль:  
1 – балка; 2 – рессорный выравниватель; 3 – прикатывающий каток; 4 – талреп

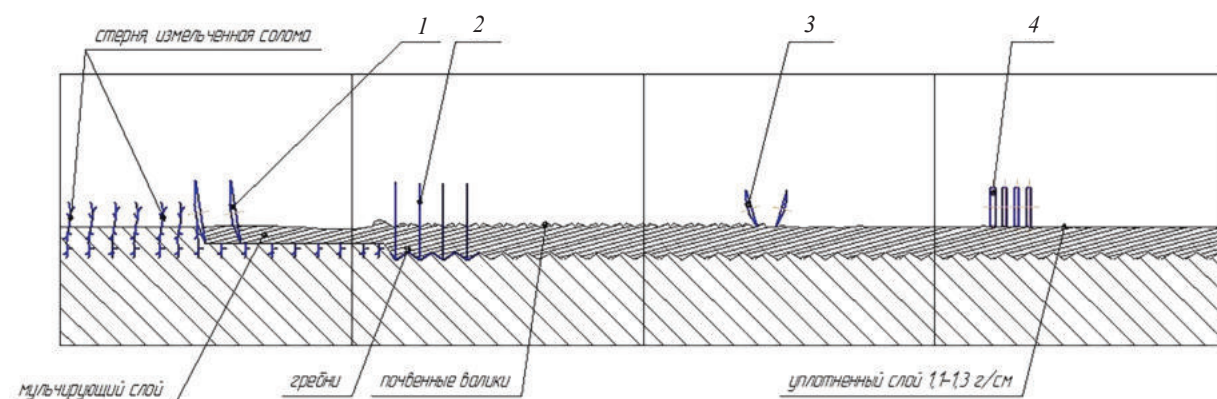


Рисунок 5 – Технологический процесс обработки почвы: 1 – сферические (волнистые) диски; 2 – чизельные рабочие органы; 3 – выравнивающие рабочие органы; 4 – прикатывающие катки

Для изменения глубины хода переднего ряда прикатывающих катков 3 по отношению к заднему ряду в конструкции предусмотрены талрепы 4.

Технологический процесс, выполняемый почвообрабатывающим агрегатом, заключается в следующем (рисунок 5): после начала движения и заглубления чизельных рабочих органов 2 сферические диски 1 внедряются в почву и режущими кромками подрезают и измельчают растительные остатки.

При вращении сферические диски 2 производят рыхление верхнего слоя почвы и смешивание его с растительными остатками. В результате чего формируется мульчирующий слой, состоящий из разрыхленной почвы и измельченных растительных остатков. Кроме этого, предварительная обработка верхнего слоя почвы сферическими дисками 2 исключает нависание растительных остатков на стойки чизельных рабочих органов 2. Далее стойки чизельных рабочих органов 2 нарезают вертикальные щели, а расположенные внизу стойки долот производят рыхление нижнего слоя с формированием в его нижней части гребней, которые препятствуют стоку воды при обработке склонов. В случае установки на стойках чизельных рабочих органов 2 лап происходит сплошное рыхление почвы. При этом одновременно с нарезанием щелей производится перемещение раскрошенной и смешанной с растительными остатками почвы на дневную поверхность обрабатываемого поля. На поверхности поля образуется мульчирующий слой, состоящий из валиков. Затем выравнивающие рабочие органы 3 выравнивают образованные чизельными рабочими органами 2 валики (гребни и впадины). После выравнивания поверхности прикатывающие катки 4 восстанавливают разрушенную чизельными рабочими органами 2 плотность до оптимальной, дробят комья почвы, которые остаются на поверхности поля после прохода вырав-

нивающих рабочих органов 3, окончательно выравнивают поверхность и формируют верхний мульчирующий слой.

Перевод агрегата из рабочего положения в транспортное осуществляется с помощью гидросистемы трактора.

Глубина обработки почвы чизельными рабочими органами осуществляется с помощью навески трактора, прикатывающего катка и колесного хода от 6 до 40 см. Регулировка глубины хода дисковых рабочих органов осуществляется с помощью гидросистемы трактора в пределах от 0 до 12 см, т. е. при необходимости диски могут быть выглублены и не участвовать в процессе работы агрегата. Регулировка глубины хода выравнивающих рабочих органов также производится с помощью гидросистемы трактора и находится в пределах от 0 до 8 см. Удельная нагрузка на катки осуществляется путем изменения взаимного расположения по высоте прикатывающего катка и колесного хода.

Показатели назначения агрегата при ширине захвата 4 и 6 м представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели назначения агрегата

Наименование показателя	Значение показателя
1. Тип	Полунавесной
2. Масса агрегата конструктивная, кг	13 800
3. Габаритные размеры в рабочем положении, мм:	
– длина;	13 200
– ширина;	6 450
– высота	2 200
4. Габаритные размеры в транспортном положении, мм:	
– длина;	13 200
– ширина, не более;	4 400
– высота, не более	3 370
5. Дорожный просвет, мм	310
6. Конструктивная ширина захвата центральной секции дисков, мм	4 020
7. Конструктивная ширина захвата боковых секций дисков, мм	998
8. Расстояние между рядами дисков, мм	1 100
9. Расстояние между дисками в ряду, мм	425
10. Диаметр дисков, мм	685
11. Количество дисков, шт.:	
– при конструктивной ширине захвата 4 м;	18
– при конструктивной ширине захвата 6 м	30
12. Конструктивная ширина захвата центральной секции рыхлителей, мм	4 125
13. Конструктивная ширина захвата боковых секций рыхлителей, мм	825
14. Расстояние между первым и вторым рядом рыхлителей, мм	1 050
15. Расстояние между вторым и третьим рядом рыхлителей, мм	810
16. Ширина междуследья рыхлителей, мм	275
17. Количество рыхлителей, шт.:	
– при конструктивной ширине захвата 4 м;	16
– при конструктивной ширине захвата 6 м	23
18. Диаметр катков, мм	540
19. Форма колец прикатывающих катков	U-образные
20. Число персонала по профессиям, необходимого для обслуживания операций, непосредственно связанных с работой машины	1 тракторист-машинист

Агротехническую оценку агрегата проводили на полях СПК «Прогресс-Вертелишки» Гродненского района Гродненской области во время осенних полевых работ 2024 г. (рисунок 6).

Испытания проводились на полях с ровным рельефом, на дерново-подзолистых супесчаных почвах. Условия испытаний характеризовались низкой влажностью почвы (6,77–12,64 %) и повышенной твердостью (2,28–4,63 МПа) из-за продолжительного отсутствия в этот период осадков.

Фонами при проведении испытаний агрегата являлись поля после уборки озимой пшеницы и кукурузы на силос.



Рисунок 6 – Лабораторно-полевые испытания агрегата АМП-6 на стерне зерновых культур

Результаты агротехнической оценки обработки почвы агрегатом приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Агротехнические показатели работы агрегата

Наименование показателя	Значение показателя	
1. Энергосредство	John Deere 8R 370 (400 л. с.)	Кировец К-746М (460 л. с.)
2. Скорость движения, км/ч рабочая: при глубине обработки от 6 до 27 см; при глубине обработки от 27 до 40 см; транспортная	8,2–14,5 8,1–11,8 20	8,0–15,1 8,0–12,2 20
3. Средняя глубина обработки, см: – рабочая ширина захвата 4 м; – рабочая ширина захвата 6 м	12,0–27,5 9–18,2	25,0–34,8 6–24,0
4. Гребнистость поверхности поля, см: – рабочая ширина захвата 4 м; – рабочая ширина захвата 6 м	3,6 3,0	3,9 3,3
5. Подрезание растительных и пожнивных остатков, %	100	100
6. Крошение почвы, %: – размер комков до 25 мм включительно (на глубине до 20 см)	92,7	90,2
7. Плотность почвы, г/см <sup>3</sup> в слоях, см: 0–5; 5–10; 10–15	1,02 1,05 1,17	1,1 1,16 1,22

Анализ данных, представленных в таблице 2, показывает, что агрегат в основном соответствует требованиям ТЗ и других технических нормативно-правовых актов (ТНПА), предъявляемых к таким агрегатам [6].

Так, гребнистость поверхности поля после обработки составила: при рабочей ширине захвата 4 м – 3,6–3,9 см, при рабочей ширине захвата 6 м – 3,0–3,3 см, что соответствует ТЗ и ТНПА (не более 4,0 см); подрезание растительных и пожнивных остатков составило 100 %, что соответствует ТЗ и ТНПА (не менее 100 %), крошение почвы, массовая доля фракций до 25 мм включительно (на глубине до 20 см) составило 90,2–92,7 %, что соответствует ТЗ и ТНПА (не менее 80 %). Анализ полученных данных также показал, что при агрегатировании агрегата с тракторами мощностью 400 и 460 л. с. максимально достигнутая глубина обработки составляет 27,5 и 34,8 см. В связи с этим при проведении дальнейших испытаний необходимо увеличить диапазон мощности агрегируемых с АМП-6 тракторов.



## **Заключение**

1. Разработан опытный образец агрегата почвообрабатывающего модульного для основной безотвальной обработки почвы к тракторам мощностью 400 л. с и более, конструкция которого позволяет вести обработку почвы на глубину от 6 до 40 см и, в зависимости от глубины обработки, устанавливать ширину захвата 4, 6 или 8 м.

2. Определены фактические значения агротехнических показателей и показателей назначения агрегата. Установлено, что они в основном соответствуют требованиям ТЗ и других технических нормативно-правовых актов (ТНПА), предъявляемых к таким агрегатам.

## **Список использованных источников**

1. Можно и без плуга. Но выборочно... / В. В. Лапа, Е. Ф. Якимович, С. В. Небышинец, Н. Д. Лепешкин // Белорусская Нива. – 2011. – № 67. – С. 13–17.
2. Можно и без плуга. Но выборочно... / В. В. Лапа, Е. Ф. Якимович, С. В. Небышинец, Н. Д. Лепешкин // Белорусская Нива. – 2011. – № 68. – С. 6–9.
3. Значение обработки почвы и агроэкологические аспекты ее совершенствования / Ф. И. Привалов, Л. А. Булавин, А. П. Гвоздов, Н. Д. Лепешкин // Земледелие и растениеводство (приложение к журналу № 2 (141), март – апрель 2022 г.). – 2022. – № 2. – С. 24–26.
4. Лепешкин, Н. Д. Безотвальная обработка почвы и перспективы ее развития для условий Республики Беларусь / Н. Д. Лепешкин, Н. Г. Бакач, В. В. Мижурин // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 95-летию со дня рождения академика С. И. Назарова (Минск, 19–20 окт. 2023 г.) ; редкол.: П. П. Казакевич [и др.]. – Минск : Беларус. навука, 2023. – С. 70–74.
5. Протокол № 3-2024П от 26 сентября 2024 года предварительных испытаний опытного образца агрегата почвообрабатывающего модульного АМП-6 / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – 2024. – 33 с.
6. ТКП 079-2007 (02150) СТОАИСТ 10 4.6-2003. Сельскохозяйственная техника. Машины почвообрабатывающие. Правила установления показателей назначения. – Минск : РУП «Белорусский научный институт внедрения новых форм хозяйствования в АПК». – 2007. – 27 с.



**Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: mehposev@mail.ru*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ ЗАХВАТА АГРЕГАТА МОДУЛЬНОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО К ТРАКТОРАМ МОЩНОСТЬЮ 400–450 л. с.**

*Аннотация.* В статье приведено определение ширины захвата перспективного почвообрабатывающего агрегата, при которой обеспечивается рациональная загрузка тракторов мощностью 400–450 л. с. при изменении глубины обработки агрегата от 6 до 30 см.

*Ключевые слова:* почвообрабатывающий агрегат, ширина захвата, загрузка трактора, тяговый класс трактора, тяговое сопротивление.

**N. D. Lepeshkin, V. V. Mizhurin**

*SUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: mehposev@mail.ru*

## **DETERMINING THE WIDTH OF WORK OF A MODULAR SOIL CULTIVATION UNIT FOR TRACTORS WITH A POWER OF 400–450 HP**

*Abstract.* The article provides a definition of the working width of a promising soil-cultivating unit, which ensures rational loading of tractors with a power of 400–450 hp. when changing the depth of processing of the unit from 6 to 30 cm.

*Keywords:* tillage unit, working width, tractor loading, tractor traction class, traction resistance.

### **Введение**

Перспективным направлением при создании многофункциональных модульных почвообрабатывающих агрегатов является расширение диапазона глубины обработки. Однако при неизменной ширине захвата такого агрегата не обеспечивается оптимальная загрузка трактора одной мощности, так как с изменением глубины обработки тяговое сопротивление агрегата также изменяется. Следовательно, при установке модулей с почвообрабатывающими рабочими органами, обеспечивающими различную глубину обработки, потребуются и трактора различной мощности, что увеличивает парк и марочность тракторов в хозяйстве и снижает их загрузку. Особенно это важно при разработке перспективных широкозахватных агрегатов к тракторам большой мощности.

Поскольку в настоящее время Минским тракторным заводом разработан и проходит испытания трактор «Беларус-4522» мощностью 450 л. с., а также имеются трактора типа К-744РЗ, К-744Р4 (АО «Петербургский тракторный завод», РФ), RSM 2400, RSM 3435 (АО «Ростсельмаш», РФ) мощностью 400–440 л. с. и другие аналогичные трактора западноевропейских и американских компаний, то для их оптимальной загрузки требуется разработка агрегата модульного, обеспечивающего как мелкие, так и глубокие обработки. Конструктивная схема такого агрегата, т. е. способного обеспечить загрузку тракторов одной мощности при обработке почвы на различную глубину путем изменения его ширины захвата, предложена и запатентована РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» [1].

Цель исследований – определить ширину захвата перспективного почвообрабатывающего агрегата, обеспечивающую рациональную загрузку тракторов мощностью 400–450 л. с. при изменении глубины обработки агрегата от 6 до 30 см.

## Основная часть

Известно, что для нормальной работы агрегата его тяговое сопротивление не должно превышать тяговое усилие трактора. Поскольку агрегат разрабатывается к тракторам мощностью 400–450 л. с., то проведем анализ тракторов указанной мощности, которые наиболее доступны и перспективны для Республики Беларусь.

С учетом сказанного, такими тракторами являются отечественный трактор «Беларус-452» и российские трактора АО «Петербургский тракторный завод» и АО «Ростсельмаш». Технические характеристики тракторов белорусского и российского производства мощностью 400–450 л. с. представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Технические характеристики тракторов белорусского и российского производства мощностью 400–450 л. с.**

Наименование показателя	Значение показателя					
Завод-изготовитель	ПО «Минский тракторный завод»	АО «Петербургский тракторный завод»			АО «Ростсельмаш»	
Марка	«Беларус-452»	Кировец К-744Р4 Стандарт	Кировец К-744Р3 Премиум	Кировец К-744Р4 Премиум	RSM2400	RSM3435
Тип движителя (колесная формула)	Пневмоколесный (4К4)					
Модель (марка) двигателя	Catrpiller C13	ТМ 38481.10-04	Mercedes-Benz OM460LAE3A/4	Mercedes-Benz OM460LAE3A/3	Cummins OSM-11	Cummins OSX-15
Тип двигателя	6-цилиндровый рядный	8-цилиндровый V-образный	6-цилиндровый рядный			
Номинальная мощность, л. с. (кВт)	466 (343)	420 (309)	401 (295)	428 (315)	405 (298)	440 (324)
Номинальная частота вращения, об/мин	2 100	1 900	1 800	1 800	2 200	2 200
Рабочий объем, л	12,5	17,24	12,82	12,82	10,8	15
Максимальный крутящий момент коленчатого вала, Н·м	2 048	1 960	1 900	2 000	1 898	2 219
Удельный расход топлива, г/л. с.·ч (г/кВт·ч)	165 (224,5)	157 (213)	151 (205)	151 (205)	н. д.	н. д.
Габаритные размеры, мм:						
– общая длина;	6 863	7 350	7 350	7 350	7 340	7 606
– ширина (без спарки);	3 020	2 875	2 875	2 875	2 655	3 277
– высота	3 630	3 876	2 876	3 876	3 721	–

Анализ данных показывает, что из представленных в таблице 1 характеристик нельзя установить, к какому тяговому классу относятся данные трактора, а значит, и каким тяговым усилием они обладают.

В ГОСТ 27021-86 «Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Тяговые классы» приведен расчетный метод определения номинального тягового усилия трактора  $P_{кр.ном}$ , которое определяется по формуле [2]:

$$P_{кр.ном} = A m_3, \quad (1)$$

где  $A$  – коэффициент, устанавливаемый в зависимости от вида трактора (для сельскохозяйственных тракторов с колесной формулой 4К4 и эксплуатационной массой 2600 кг  $A = 3,92 \times 10^{-3}$  [2]).

На основании представленных в таблице 1 значений эксплуатационной массы, ГОСТ 27021-86 и выражения (1) в таблице 2 приведены результаты расчета номинальных тяговых усилий, по ним определены тяговые классы тракторов.

Таблица 2 – Экспозиционные массы и номинальные тяговые усилия тракторов, тяговый класс трактора

Наименование показателя	Значение показателя					
	Беларус 4522	Кировец К-744Р4 Стандарт	Кировец К-744Р3 Премиум	Кировец К-744Р4 Премиум	RSM2400	RSM3435
Масса эксплуатационная, кг	17650	17500	17500	17500	17900	22070
Номинальное тяговое усилие, кН	69,18	68,6	68,6	68,6	70,17	86,5
Тяговый класс трактора	6	6	6	6	6	8

Анализируя полученные результаты (таблица 2), можно сделать вывод, что такие тракторы как «Беларус 4522», К-744 Р4 «Стандарт», К-744 Р3 «Премиум», К-744 Р4 «Премиум» и «RSM 2400» относятся к тяговому классу 6 и этих тракторов больше всего из представленных на территории РБ. Также следует отметить и то, что только один из тракторов этого класса – К-744 Р4 «Стандарт» снабжен своим двигателем, выпускаемым на ПАО «Тутаевский моторный завод» (РФ). Поэтому очевидно, что для агрегатирования разрабатываемого агрегата будут в основном использоваться трактора класса 6, для которых номинальное тяговое усилие согласно [2], а следовательно, сопротивление агрегата будет находиться в диапазоне 54–72 кН.

Удельное сопротивление агрегата  $P_{\text{тяг}}$  можно определить как сумму составляющих тяговых сопротивлений каждого рабочего органа:

$$P_{\text{тяг}} = \frac{P_g}{a_g} + \frac{P_p}{a_h} + \frac{P_b}{a_b} + P_k, \quad (2)$$

где  $P_g$  – сопротивление диска, кН;  $a_g$  – ширина междуследия дисков, м;  $P_p$  – сопротивление рыхлительного рабочего органа, м;  $a_h$  – ширина междурядья рыхлительных рабочих органов, кН;  $P_b$  – сопротивление выравнивателей, м;  $a_b$  – среднее расстояние между выравнивателями, м;  $P_k$  – удельное сопротивление катка, кН/м.

Для прогнозирования тягового сопротивления рабочих органов для дискования, чизелевания и выравнивания используем модели, полученные в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» при динамометрировании различных рабочих органов в условиях республики. Так, модель, построенная для дисковых вырезных сферических дисков, имеет вид:

$$P_{\text{р.диск}} = 347,9776 + 0,056h^3 + 0,0559V^3 - 6,1158h, \quad (3)$$

где  $h$  – глубина обработки, м;  $V$  – рабочая скорость, км/ч.

Для рыхлительного рабочего органа на жесткой стойке модель предоставлена в виде:

$$P_{\text{р.рых.}} = 259,2463 + 3,3901h^2 + 0,0842V^3 - 31,3494h. \quad (4)$$

При использовании выравнивателей в виде дисков их тяговое сопротивление можно определить по формуле (3).

Удельное сопротивление кольчатого катка примем равными 0,6–0,8 кН/м [3], [4].

В результате расчетов установлено, что при изменении скорости движения от 6 до 15 км/ч и глубины обработки от 6 до 30 см тяговое сопротивление рабочих органов составляет:

- дисковых вырезных сферических дисков 0,352–0,427 кН;
- чизельных рыхлительных рабочих органов 0,720–2,282 кН;
- выравнивающих сферических дисков 0,352–0,367 кН;
- кольчатого катка 0,6–0,8 кН.

Тогда при ширине междурядья дисков 0,125 м, ширине междурядья разрыхлительных рабочих органов 0,353 м и среднем расстоянии между выравнивающими дисками 0,5 м удельное сопротивление агрегата с учетом формулы (2) составит:

$$P_{\text{тяг}}^{\min} = \frac{0,352}{0,125} + \frac{0,720}{0,353} + \frac{0,352}{0,5} + 0,6 = 6,156 \text{ кН/м.}$$

$$P_{\text{тяг}}^{\max} = \frac{0,427}{0,125} + \frac{2,282}{0,353} + \frac{0,367}{0,5} + 0,8 = 11,365 \text{ кН/м.}$$

С учетом минимального  $P_{\text{тяг}}^{\min}$  и максимального  $P_{\text{тяг}}^{\max}$  удельного тягового сопротивления агрегата, усилия трактора класса 6 и допустимого коэффициента ( $K$ ) использования силы тяги трактора, который должен составлять 0,93 [4], определим предельное значение захвата агрегата ( $B_a$ ):

$$B_a^{\min} = \frac{P_{\text{ТР}}^{\min}}{P_{\text{тяг}}^{\min}} \cdot 0,93. \quad (5)$$

$$B_a^{\max} = \frac{P_{\text{ТР}}^{\max}}{P_{\text{тяг}}^{\max}} \cdot 0,93. \quad (6)$$

Таким образом, для нормального агрегатирования и загрузки тракторов мощностью 400–450 л. с. почвообрабатывающий агрегат должен иметь ширину захвата 6–8 м.

### Заключение

Ширина захвата перспективного почвообрабатывающего агрегата для обеспечения рациональной загрузки тракторов мощностью 400–450 л. с. при изменении глубины обработки агрегата от 6 до 30 см должна составлять 6–8 м.

### Список использованных источников

1. Патент 13252 Республика Беларусь, МПК А01В 49/02, А01В 59/04. Универсальный почвообрабатывающий агрегат / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин, Д. И. Комлач ; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № u 20220217 : заявлено 19.09.2022 : опубл. 30.08.2023.
2. Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Тяговые классы : ГОСТ 27021-8 (СТ СЭВ 628-85). – М. : Издательство стандартов, 1986. – 8 с.
3. Веденяпин, Г. В. Эксплуатация машинно-тракторного парка / Г. В. Веденяпин, Ю. К. Киртбая, М. П. Сергеев. – М. : Издательство с.-х. литературы, журналов и плакатов, 1963. – 431 с.
4. Иофинов, С. А. Справочник по эксплуатации машинно-тракторного парка / С. А. Иофинов, Э. П. Бабенко, Ю. А. Зуев ; под общ. ред. С. А. Иофинова. – М. : Агропромиздат, 1985. – 272 с.

**Н. Д. Лепёшкин, В. В. Микульский, П. П. Бегун, В. В. Мижурин**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*E-mail: mehposev@mail.ru*

## **ПЛУГ ОБОРОТНЫЙ НАВЕСНОЙ С ИЗМЕНЯЕМЫМ ЦЕНТРОМ МАСС ПОНС-4-40: ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ**

*Аннотация.* В статье рассмотрены конструкция и принцип работы навесного 4-корпусного оборотного плуга с изменяемым центром масс и представлены результаты его испытаний. Установлено, что новый плуг безопасно агрегируется с трактором «Беларус-1221» и обеспечивает требуемые ТНПА показатели его работы.

*Ключевые слова:* конструктивная схема, оборотный навесной плуг, центр масс, складная рама, функциональные показатели, эксплуатационно-технологические показатели, экономические показатели.

**N. D. Lepeshkin, V. V. Mikulsky, P. P. Begun, V. V. Mizhurin**

*SUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"*

*Minsk, Republic of Belarus*

*E-mail: mehposev@mail.ru*

## **MOUNTED REVERSAL PLOW WITH VARIABLE CENTER OF MASS PNMF-4-40: DESIGN FEATURES AND TEST RESULTS**

*Abstract.* The article discusses the design and operating principle of a mounted 4-hull reversible plow with a variable center of mass and presents the results of its tests. It has been established that the new plow is safely aggregated with the Belarus-1221 tractor and provides the performance indicators required by the ROV.

*Keywords:* structural diagram, reversible mounted plow, center of mass, folding frame, functional indicators, operational and technological indicators, economic indicators

### **Введение**

Для проведения отвальной вспашки в Республике Беларусь, в том числе и с участием РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», разработаны и освоены в производстве оборотные плуги ко всем классам тракторов. Однако оборотные плуги из-за наличия у них поочередно работающих лево- и правооборачивающих корпусов имеют большую по сравнению с загонными плугами материалоемкость. Поэтому с учетом особенностей отечественных тракторов все они, за исключением 3-корпусных плугов, были созданы в полунавесном варианте [1–5]. Вместе с тем практика использования полунавесных плугов показала, что для их работы требуются разворотные полосы большой ширины, а качественная обработка этих полос затруднена. Кроме этого затруднена, а иногда и невозможна вспашка мелкоконтурных полей, а также полей со сложной конфигурацией.

Одним из путей решения этой проблемы является расширение номенклатуры навесных плугов и в первую очередь создание 4-корпусного оборотного плуга к широко применяемому в республике трактору «Беларус-1221».

### **Основная часть**

Основным недостатком существующих конструкций навесных оборотных плугов ввиду их большой массы по сравнению с загонными является то, что при их агрегатировании с тракторами «Беларус» в транспортном положении возникает опрокидывающий момент и нагрузка на



управляемые колеса трактора составляет менее 20 % от его эксплуатационной массы. Поэтому для обеспечения требования по управляемости трактора производится его балластировка – установка в передней части трактора балластных грузов или используются трактора, имеющие большую нагрузку на управляемые колеса, т. е. трактора большего тягового класса. Однако обеспечить требуемую нагрузку на управляемые колеса с помощью балластных грузов не всегда представляется возможным из-за ограниченности их допустимой массы, а использование трактора с большей нагрузкой на управляемые колеса не полностью реализует его тяговое усилие.

С учетом сказанного РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» была обоснована и запатентована конструкция плуга, позволяющая уменьшить опрокидывающий момент при его транспортировании и обороте за счет приближения центра масс плуга к оси его подвеса путем складывания рамы [6–8]. Такое техническое решение позволяет создавать плуги, которые при практически одинаковой массе, как у навесных плугов с цельной рамой, будут обеспечивать уменьшение опрокидывающего момента, возникающего в транспортном положении, а следовательно, безопасное агрегатирование плуга с трактором.

Конструктивно перспективный плуг со складной рамой состоит из навесного устройства 1 (рисунок 1), с помощью которого он навешивается на ось автосцепки 2 и затем агрегируется с трактором.

Механизм оборота 3 рамы 12 служит для перевода правооборачивающих корпусов 4 с углосни-  
мами 16 и левооборачивающих корпусов 5 с углосни-  
мами 17 в рабочее положение в зависимости от направления движения трактора с плугом по полю.

Колесо опорное 6 с механизмом регулировки 18 предназначено для установки и поддержания глубины вспашки плуга. Электрооборудование 7 предназначено для обозначения габаритов, указания поворотов и стоп-сигнала при транспортировании плуга по дорогам. Гидросистема 8 служит для перевода плуга из транспортного положения в рабочее и наоборот.

Опора 9 предназначена для обеспечения устойчивого положения плуга при хранении. Чистик 10 предназначен для очистки правооборачивающих корпусов 4 с углосни-  
мами 16 и левооборачивающих корпусов 5 с углосни-  
мами 17 в случае налипания на них почвы. Параллелограмм-  
ный механизм корректировки ширины захвата 11 первого корпуса А предназначен для изменения его положения в поперечной плоскости в зависимости от колеи колес трактора, для обеспечения слитности пахоты при переменной работе правооборачивающих корпусов 4 с углосни-  
мами 16 и левооборачивающих корпусов 5 с углосни-  
мами 17.

При этом рама 12 плуга состоит из передней Б и задней В части, которые шарнирно соединены между собой с помощью кронштейнов 13 и оси 14. Гидроцилиндр складывания-раскладывания 15 также соединяет переднюю Б и заднюю В части рамы 12 и служит для перевода задней В части из транспортного положения в рабочее. Таким образом, при переводе задней В части рамы 12 плуга в рабочее положение образуется единая несущая конструкция рамы 12 плуга.

Плуг работает следующим образом. При помощи навесного устройства 1 и оси автосцепки 2 плуг агрегируют с трактором. Далее гидросистема 8 плуга подсоединяется к гидросистеме трактора. Электрооборудование 7 плуга соединяется с розеткой электрооборудования трактора. Затем на ровной площадке производят корректировку ширины захвата плуга с помощью параллелограммного механизма корректировки ширины 11 захвата первого корпуса А. После этого при помощи колеса опорного 6 с механизмом регулировки 18 устанавливают требуемую глубину вспашки.

Далее плуг транспортируется на поле. По прибытии на место работы плуг из транспортного положения переводят в рабочее. Для этого с помощью механизма оборота 3 рамы 12 производят оборот рамы 12 в правое или левое положение, соответственно будут задействованы в работе правооборачивающие корпуса 4 с углосни-  
мами 16 или левооборачивающие корпуса 5 с углосни-  
мами 17. Затем с помощью гидроцилиндра складывания-раскладывания 15 задней В части рамы 12 осуществляют ее перевод в рабочее положение.

При начале движения трактора с плугом правооборачивающие корпуса 4 с углосни-  
мами 16 или левооборачивающие корпуса 5 с углосни-  
мами 17 плуга заглубляются, отделяют пласт почвы от массива и оборачивают его. Колесо опорное 6 с механизмом регулировки 18 обеспечивает

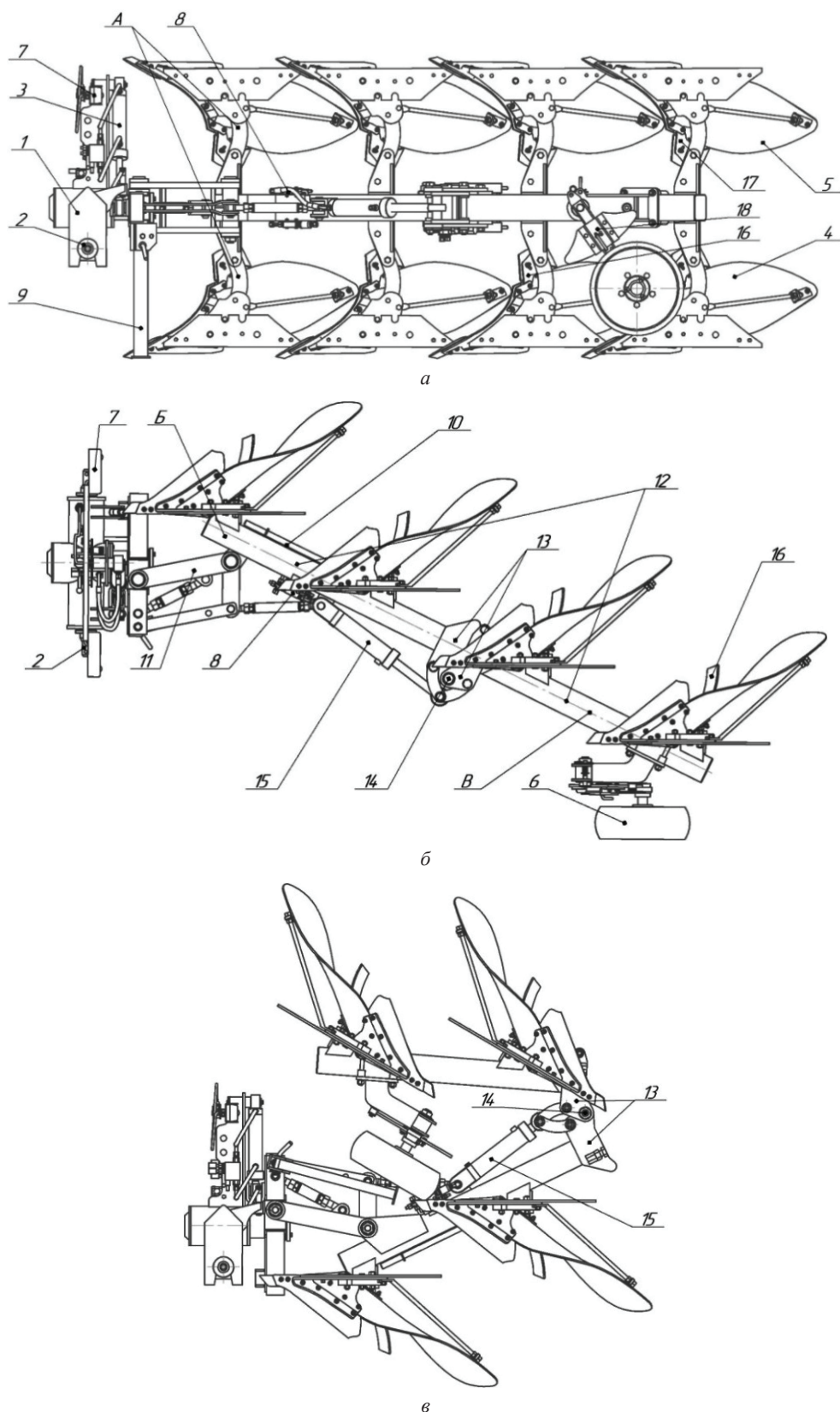


Рисунок 1 – Плуг навесной оборотный со складной рамой: *а* – вид сбоку; *б* – вид сверху; *в* – плуг в транспортном положении; 1 – навесное устройство; 2 – автосцепка; 3 – механизм оборота; 4 – правооборачивающие корпуса; 5 – левооборачивающие корпуса; 6 – колесо опорное; 7 – электрооборудование; 8 – гидросистема; 9 – опора; 10 – чистик; 11 – параллелограммный механизм корректировки ширины захвата; 12 – рама; 13 – кронштейн; 14 – ось; 15 – гидроцилиндр складывания-раскладывания; 16, 17 – углоснимы; 18 – механизм регулировки

заданную глубину обработки. В конце гона плуг переводится в транспортное положение, осуществляется разворот и оборот рамы 12 плуга механизмом оборота 3 рамы 12 в другое положение.

С использованием предложенного технического решения РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» совместно с ОАО «МЗШ» был разработан и испытан в ГУ «Белорусская МИС» опытный образец навесного 4-корпусного оборотного плуга ПОНС-4-40 [9].

Техническая характеристика плуга ПОНС-4-40 представлена в таблице.

**Техническая характеристика опытного образца плуга ПОНС-4-40**

Наименование показателя	Значение
Тип плуга	навесной
Масса конструктивная, кг	1320
Агрегатирование	«Беларус-1221»
Габаритные размеры агрегата, мм: – в рабочем положении (длина/ширина/высота); – в транспортном положении (длина/ширина/высота).	4 100/2 400/1 600 2 600/1 600/2 900
Дорожный просвет, мм	400
Конструктивная ширина захвата плуга, м	1,6
Тип корпуса	полувинтовой
Количество корпусов, шт.: правооборачивающих; левооборачивающих	4 4
Конструктивная ширина захвата корпуса, мм	40
Расстояние между корпусами по ходу плуга, мм	810
Расстояние от опорной плоскости корпусов до нижней плоскости рамы, мм	720
Тип предохранителя корпуса	срезной болт

В результате испытания установлено, что при складывании длина плуга уменьшается с 4 100 мм до 2 600 мм (см. таблицу), при этом нагрузка на управляемые колеса трактора «Беларус-1221» при массе плуга 1 320 кг составила 22 % от его эксплуатационной массы, что соответствует требованиям ГОСТ 12.2.111–2020 «Машины сельскохозяйственные навесные и прицепные. Общие требования безопасности».

Испытания плуга проводились на полях ГП «Экспериментальная база «Зазерье» ОАО «Зазерка» Пуховичского района и ГСХУ «Несвижская сортировальная станция» Несвижского района Минской области во время летне-осенних полевых работ 2024 г. (рисунок 2).

Условия испытаний характеризовались низкой влажностью почвы (4,6–22 %) и повышенной твердостью (2,1–7,5 МПа) из-за продолжительного отсутствия в этот период осадков.

Фонами при проведении испытаний плуга являлись поля после уборки зерновых, овощных и технических культур, однолетних и многолетних трав, а также пастбища.

В результате проведения испытаний было установлено, что плуг в основном соответствует требованиям ТЗ и другим техническим нормативно-правовых актов (ТНПА).

Так, по результатам функциональных испытаний выявлено, что при установочной глубине 20 см на вспашке поля со стерней зерновых и установочной глубине 22 см на вспашке пастбища и поля после уборки многолетних трав отклонение фактической глубины обработки почвы от заданной не превысило 1 см, что соответствует требованиям ТЗ и СТБ 1388-2019 (не более  $\pm 2$  см). Отклонение рабочей ширины захвата от конструктивной составило 3,1–5,6 % (по ТЗ и СТБ 1388-2019 –  $\pm 10$  %). Глубина заделки растительных и пожнивных остатков составила 10–13 см (по ТЗ и СТБ 1388-2019 – не менее 10 см). Степень заделки растительных и пожнивных остатков составила 98,3–99,6 % (по ТЗ и СТБ 1388-2019 – не менее 98 %). Крошение почвы (массовая доля фракций до 5 см) составило 73,2–95,7 % (по ТЗ и СТБ 1388-2019 – не менее 70 %). Гребнистость поверхности вспашки составила 2–3 см (по ТЗ и СТБ 1388-2019 – не более 5 см). При этом производительность плуга за час составила: основного времени – 1,28–1,45 га; сменного – 0,96–1,08 га; эксплуатационного – 0,93–1,06 га. Удельный расход топлива за сменное время составил 16,2–18,2 кг/га.



*а*



*б*

Рисунок 2 – Плуг ПОНС-4-40: *а* – в транспортном положении; *б* – в работе

Проведенный по результатам эксплуатационно-технологической оценки расчет экономических показателей использования плуга ПОНС-4-40 на вспашке поля со стерней зерновых культур показал, что в сравнении с зарубежным аналогом (плуг Pietro фирмы MaschioGaspardo, Италия) данный плуг обеспечивает годовой экономический эффект в размере 21 452,4 руб., снижение себестоимости механизированных работ на 40,5 % и срок окупаемости абсолютных капитальных вложений в течение 2 лет.

### Заключение

1. Конструктивное исполнение плуга навесного оборотного ПОНС-4-40, в котором для изменения положения центра масс при переводе его в транспортное положение применена складная рама, позволяет безопасно агрегатировать данный плуг с трактором «Беларус-1221» и дает возможность более производительного обрабатывать мелкоконтурные поля и поворотные полосы, которые практически невозможно обрабатывать многокорпусными полунавесными плугами.

2. Приемочными испытаниями определены фактические значения показателей плуга ПОНС-4-40 и установлено, что опытный образец плуга соответствует требованиям ТЗ и других ТНПА по функциональным и эксплуатационно-технологическим показателям и экономически эффективен в сравнении с импортным аналогом.

### Список использованных источников

1. Основные направления развития механизации обработки почвы и посева в Республике Беларусь до 2030 года / Н. Д. Лепешкин, А. А. Точицкий, В. В. Мижурин, Д. В. Заяц // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2018. – Вып. 51. – С. 10–16.



2. Точицкий, А. А. Плуги оборотные или загонные. Что эффективнее? / А. А. Точицкий, Н. Д. Лепешкин // Белорусское сельское хозяйство. – 2006. – № 8. – С. 16–19.
3. Лепешкин, Н. Д. Почвообрабатывающие машины для основной обработки почвы и перспективы их развития (для условий Республики Беларусь) / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск : Беларус. навука, 2023. – Вып. 56. – С. 45–51.
4. Десять корпусов для гладкой вспашки / Н. Д. Лепешкин, П. П. Костюков, Г. И. Павловский [и др.] // Белорусское сельское хозяйство. – 2013. – № 9 (137). – С. 107–108.
5. Перспективный плуг ПО-(8+4)-40 для тракторов мощностью 450 л. с. / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин, Д. В. Заяц [и др.] // Вестник БГСХА. – № 1. – 2021. – С. 167–171.
6. Полезная модель ВУ 13590. Навесной плуг с изменяемым центром масс : опубл. 20.11.2024 / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин, В. В. Микульский, Г. И. Павловский.
7. Плуг с изменяемым центром масс: промышленный образец ВУ 5276 / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин, В. В. Микульский, Г. И. Павловский : опубл. 20.11.2024.
8. Лепешкин, Н. Д. Обоснование конструктивной схемы, разработка и испытания экспериментального образца навесного оборотного 4-корпусного плуга с изменяемым центром масс к тракторам «БЕЛАРУС –1221» / Н. Д. Лепешкин, В. В. Мижурин, В. В. Микульский, А. В. Пётух // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 17–18 окт. 2024 г.) ; редкол.: П. П. Казакевич [и др.]. – Минск : Беларус. навука, 2024. – С. 227–231.
9. Протокол №083-1/2-2024 от 17 декабря 2024 года приемочных испытаний плуга оборотного навесного с изменяемым центром масс ПОНС-4-40 / ГУ «Белорусская МИС». – 2024. – 79 с.



**Н. Ф. Капустин**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: npcter@yandex.ru*

## **АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ПОТЕРЬ АЗОТА И ФОСФОРА В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ В ПРОЦЕССЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

*Аннотация.* В статье рассмотрены агротехнические мероприятия и оборудование для их реализации, обеспечивающие снижение потерь азота и фосфора в окружающую среду, такие как бесплужная обработка почвы, обработка почвы с глубоким рыхлением, прямой посев, минимальная обработка почвы, комбинированный посев, дифференцированное поверхностное ленточное и внутрипочвенное внесение удобрений, заделка удобрений и известкование почвы.

*Ключевые слова:* азот, фосфор, потери, окружающая среда, бесплужная обработка почвы, прямой посев, дифференцированное внесение удобрений, внутрипочвенное и поверхностное внесение удобрений, известкование почвы, заделка удобрений.

**N. F. Kapustin**

*SUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: npcter@yandex.ru*

## **AGROTECHNICAL MEASURES TO REDUCE LOSSES OF NITROGEN AND PHOSPHORUS INTO THE ENVIRONMENT DURING AGRICULTURAL ACTIVITIES**

*Abstract.* The article discusses agrotechnical measures and equipment for their implementation, ensuring a reduction in the loss of nitrogen and phosphorus into the environment, such as: plowless tillage, tillage with deep loosening, direct sowing, minimal tillage, combined sowing, differentiated surface band and subsoil application fertilizers, incorporation of fertilizers and liming of the soil.

*Keywords:* nitrogen, phosphorus, losses, environment, plowless tillage, direct sowing, differentiated application of fertilizers, subsoil and surface application of fertilizers, liming of soil, incorporation of fertilizers.

### **Введение**

Азот и фосфор являются биогенными элементами, входящими в состав клеток всех видов организмов, в том числе наземных растений.

Азот входит в состав таких жизненно важных веществ, как аминокислоты и хлорофилл, а также таких органических соединений, как алкалоиды, гликозиды и др. Поступившие в растения минеральные формы азота проходят сложный цикл превращений, в конечном итоге включаясь в состав органических соединений.

Фосфор содержится в растениях в значительно меньших количествах, чем азот, но является не менее важным для жизнедеятельности растений биогенным элементом. Фосфор выступает в роли спутника азота, при его недостатке в растении усиливается накопление нитратных форм азота. Этот элемент называют «ключом жизни», так как без фосфорной кислоты не может существовать ни одна живая клетка. При участии фосфора происходит углеводный обмен. Фосфорная кислота активно взаимодействует с углеводами и эти соединения играют огромную роль в процессах дыхания и фотосинтеза. Фосфор, поступающий в растения, способствует накоплению крахмала, сахаров, красящих и ароматических веществ.

В то же время сельское хозяйство является крупнейшим антропогенным источником питательных веществ, который в значительной мере способствует деградации окружающей среды, изменению климата, загрязнению и эвтрофикации водных ресурсов. Эвтрофикация вызывает ряд негативных изменений флоры и фауны и приводит к большим социальным и экономическим потерям. С химически активным азотом, поступающим в биосферу от сельскохозяйственного производства, связаны следующие нежелательные последствия:

- подкисление озер, рек и почвы из-за осаждения  $\text{NH}_3$  и  $\text{NO}_x$ ;
- загрязнение грунтовых вод и питьевой воды из-за  $\text{NO}_3$  выщелачивания;
- эвтрофикация поверхностных вод из-за обогащения азотом и последующее цветение токсичных водорослей;
- ухудшение здоровья людей вследствие образования в воздухе взвешенных частиц и аэрозолей из-за  $\text{NH}_3$ ;
- повреждение растений из-за  $\text{NH}_3$  и  $\text{NO}_x$ , вызывающих образование озона;
- глобальное потепление из-за эмиссии  $\text{N}_2\text{O}$ ;
- разрушение стратосферного озона, вызванного  $\text{N}_2\text{O}$ .

Существенной экологической проблемой могут стать также диффузные потери фосфора с сельхозугодий в воду. Во многих водосборах сельское хозяйство является главным источником фосфора в поверхностных водах. Излишек фосфора потенциально опасен для среды, в то время как его дефицит может привести к снижению урожайности сельхозкультур. Чтобы противодействовать этому предпринимаются агротехнологические и технические мероприятия, направленные на сокращение объема азотных и фосфорных соединений в водах, сбрасываемых от сельскохозяйственных источников (полей, животноводческих объектов и др.) в окружающую среду [1].

### Основная часть

Сокращению вымывания азота и фосфора способствует снижение минерализации органического вещества в почве, которая зависит от метода обработки почвы.

Традиционная система обработки почвы, основанная на плужной и других механических видах обработки, разрушает естественную структуру почвы, влечет за собой пересыхание почвы и ускоряет минерализацию органического вещества. Потери органического вещества после двух десятилетий интенсивной обработки почвы могут иногда достигать до 50 %.

Сокращение обработки почвы может снизить минерализацию органического вещества в почве, что способствует сокращению вымывания нитратов. Что касается систем обработки, то можно выделить две альтернативные системы:

- а) противоэрозионная обработка почвы (без применения плуга);
- б) без обработки почвы (прямой посев) [2].

Система без применения плуга – это механическая обработка поверхности почвы без использования плуга (на глубину 10–12 см) или обработка почвы с более глубоким рыхлением почвы (до 25 см) (рисунок 1).



Рисунок 1 – Агрегат почвообрабатывающий многофункциональный для бесплужной обработки почвы



Рисунок 2 – Сеялка прямого посева



Рисунок 3 – Агрегат для одновременного посева семян и внесения удобрений

В системе без применения плуга используется следующее оборудование: культиваторы с жесткими лапами (грубберы), карусельные или дисковые бороны, почвенные агрегаты, используемые для сложного шлифования и рыхления почвы. Эти устройства не переворачивают почву, но сильно разрыхляют и перемешивают ее. Около 30 % остатков урожая находятся на поверхности почвы перед посевом. Для посева семян необходимо использовать специальные сеялки, обычно с дисковыми стойками.

Система без обработки почвы – это посев семян в почву после уборки предшествующей культуры с использованием специальных сеялок для прямого посева. Основными машинами, используемыми в данной системе, являются сеялки с сошниками разной конструкции, бороны, карусельные культиваторы, комбайны (рисунок 2).

Следует отметить, что отказ от вспашки почвы с использованием систем с минимальной обработкой или без нее также способствует снижению потерь фосфора. Культивация почвы дисками или лапами, или с помощью прямой заделки в стерню (no-till) сохраняет органическое вещество в почве и поддерживает его правильную структуру. Благодаря улучшению инфильтрации и удержанию воды, суммарные концентрации фосфора в поверхностных стоках незначительны [3].

Риск вымывания азота повышается при осенней культивации из-за теплых и влажных почвенных условий, а также отсутствия активно растущей сельскохозяйственной культуры. В связи с этим более предпочтительной является весенняя культивация, при которой укоренившиеся весной культуры создают поверхностный покров и забирают минерализованный азот, снижая риск его вымывания.

Уменьшить риск смывания питательных элементов поверхностными стоками позволяет комбинированный посев с использованием агрегата для одновременного посева семян и внесения удобрений (рисунок 3).





Рисунок 4 – Разбрасыватель удобрений с оборудованием для дифференцированного внесения удобрений

Внесение химических удобрений на глубину большую, чем глубина высева семян создает хорошие условия для поглощения дополнительных питательных веществ развивающимися семенами. При этом экономится время и более эффективно используются питательные элементы. Например, фосфор из удобрений быстро связывается в глубине почвы с ее частицами, и тем самым меньше подвержен выщелачиванию.

Еще одним техническим мероприятием, контролирующим рациональное внесение удобрений на поля, является применение глобальной системы позиционирования (GPS). Применение системы позиционирования на этапах отбора проб для анализа почвы и внесения удобрений позволяет:

- сократить потребление удобрений;
- повысить эффективность впитывания удобрений растениями благодаря лучшему их распределению на поле;
- снизить потери питательных веществ;
- улучшить рентабельность удобрения при внесении на поля.

С этой целью используется разбрасыватель удобрений с оборудованием для их дифференцированного внесения на поля и соответствующей навигационно-управляющей системой (рисунок 4).

Что касается жидких органических удобрений, то они могут вноситься на поля различными способами, включая разбрасывание по поверхности земли, внутрипочвенное внесение (инъекция) и орошение дождеванием.

Наиболее эффективным методом сокращения потерь аммиака во время внесения и после него является прямая инъекция навозной жижи или жидкого навоза в почву или их распространение с использованием технологии ленточного внесения удобрения (рисунок 5).



Рисунок 5 – Техника для внутрипочвенного внесения жидких удобрений методом инъекции

Прямая инъекция может сократить выброс питательных веществ путем прямого введения навоза под поверхность почвы. Это снижает выдержку навоза на воздухе и увеличивает его инфильтрацию в почву. В этой системе могут использоваться цистерны для жидкого навоза с тремя основными типами инжекторов:

- мелкие (или с прорезями) инжекторы прорезают узкие щели в почве (как правило, 4–6 см в глубину и на расстоянии 25–30 см друг от друга), которые заполняются жидким навозом или навозной жижей;

- глубокие инжекторы заделывают жидкий навоз или навозную жижу на глубину 12–30 см в почву при помощи сошников, отстоящих друг от друга на расстоянии 50 см;

- пахотные инжекторы основаны на весенних культиваторах или культиваторах с жесткой лапой, которые предназначены только для использования на пахотных землях.

При использовании метода инъекции жидкий навоз вносится непосредственно в активный слой почвы в открытые или закрытые щели. Навоз полностью закрывается после инъекции, причем щели закрываются прикатывающими катками или роликами, закрепленными за инжекторными лапами. Для уменьшения выбросов аммиака инъекция в закрытые щели является более эффективной, чем в открытые. Чтобы получить это дополнительное преимущество, тип почвы и почвенные условия должны обеспечивать возможность эффективного закрытия щели.

Применение разбрасывателей для ленточного внесения удобрений может снизить выбросы питательных веществ из навозной жижи и жидких удобрений за счет снижения воздействия воздуха на навоз и потока воздуха над ним. В этой системе могут использоваться два основных типа машин:

- прицепной шланг – навозная жижа выпускается на уровне земли на траву или пашню через несколько гибких шлангов (возможно внесение между рядами культуры на корню);

- прицепные сошники (или бороздоделатели) – навозная жижа просто выпускается из жестких труб, на конце которых имеются металлические «башмаки», предназначенные для перемещения по поверхности почвы, разделяя культуру таким образом, чтобы наносить навозную жижу прямо на поверхность почвы.

Поскольку жидкий навоз распределяется в прицепные шланги/сошники через рампу, достигается хорошее и равномерное боковое распределение. Распределение на горизонтальном уровне можно также поддерживать постоянным с помощью насосного оборудования. Некоторые из новейших разбрасывателей снабжены системой регулирования, которая автоматически настраивает выдачу на скорость перемещения, но поддерживает норму внесения на требуемом уровне (рисунок 6).



Рисунок 6 – Поверхностное внесение жидких удобрений с помощью прицепных шлангов-понижителей





Рисунок 7 – Известкование почвы с использованием разбрасывателя

Питательные вещества лучше всего доставляются растениям из почвы с показателем кислотности pH 6,5–7,2. Даже при небольшом подкислении почвы ниже pH 6,5 поглощение некоторых питательных веществ, в том числе азота и фосфора, существенно снижается. Низкая кислотность почвы и анаэробные условия блокируют процесс нитрификации, приводя к потере газа и влияя на нестабильность нитратов и нитритов, которые в конечном итоге либо выщелачиваются, либо превращаются в молекулярный азот. Это наиболее важная причина потери азота из почвы.

Ускорить процесс разложения органического вещества и нитрификацию позволяет известкование почвы (рисунок 7), при котором ее pH достигает значения, характерного для слабокислой или нейтральной почвы.

Кроме этого, путем улучшения аэрации почвы известкование предотвращает негативные процессы денитрификации, которые приводят к потере азота.

Известкование способствует лучшему поступлению азота в растения в аммонийной форме. Регулирование pH почвы в сторону слабокислой-нейтральной является также очень важным в плане развития азотфиксирующих бактерий. Повышение pH ведет к постепенному высвобождению имеющегося фосфора, повышая тем самым его использование из удобрений и почвы. В результате известкования возрастает поглощение фосфора некоторыми растениями, например, злаками в 2–3 раза, овсом примерно на 60 % и клевером примерно на 10–20 %. Лучшее усвоение питательных элементов растениями означает, что риск их потери снижается.

Для достижения максимальной эффективности использования органических и минеральных удобрений их нужно полностью заделывать в почву после внесения на поля. Заделка органических и химических удобрений может осуществляться таким оборудованием, как плуг, дисковые или лапные культиваторы в зависимости от типа почвы и почвенных условий. Заделка обычно выполняется как отдельная рабочая операция.

Что касается жидкого навоза, то его заделку нужно осуществлять быстро после разбрасывания, поскольку потери аммония начинаются сразу же после разбрасывания. Для достижения полной заделки рекомендуется завершить ее в течение 6 ч после разбрасывания. Наиболее эффективным методом часто считается полная заделка жидкого навоза в почву путем запахивания (рисунок 8).

Однако запахивание является сравнительно медленной операцией. Поэтому в некоторых обстоятельствах использование дисковых культиваторов и культиваторных лап может быть более эффективным, поскольку навозная жижа остается открытой на поверхности лишь на короткое время. Инжекция жидкого навоза играет такую же роль, как и заделка.

Заделка твердого навоза в поверхность поля является эффективным способом снижения выбросов аммиака. Самые крупные потери аммиака происходят в течение нескольких часов после разбрасывания. Поэтому рекомендуется осуществлять заделку в течение 24 ч. Для максимального сокращения потерь навоза его нужно полностью заделать. Обычно наиболее эффективным



Рисунок 8 – Быстрая заделка навозной жижи в почву

способом заделки является вспашка. Другие методы заделки, например, использование дисковых культиваторов или культиваторной лапы, могут также быть эффективными в зависимости от характеристик навоза и почвы. Заделка возможна только перед посевом культур.

Разбросанное удобрение необходимо немедленно заделать в почву путем вспашки для того, чтобы предотвратить потери питательных веществ из-за стока, эрозии или испарения, а также чтобы удержать большую часть внесенных питательных элементов для поглощения растениями. Благодаря заделке эти питательные вещества смешиваются в поверхностном слое почвы, где корни растения способны перехватить их.

Известно, что заделка навоза предотвращает прямой поверхностный сток твердых органических частиц и фосфора, однако участки, где заделка навоза осуществлялась путем запахивания, показали более высокую потерю в почве, чем контрольные участки, не подвергавшиеся вспашке. Поэтому рекомендуется заделывать навоз таким образом, чтобы поддерживать поверхностные остатки при помощи таких минимальных методов обработки почвы, как рыхление или инъекция.

### **Выводы**

Сельское хозяйство является крупнейшим антропогенным источником питательных веществ, который в значительной мере способствует деградации окружающей среды, изменению климата, загрязнению и эвтрофикации водных ресурсов за счет вымывания азота и фосфора с сельскохозяйственных полей в воду. Чтобы противодействовать этому, предпринимаются агротехнологические и технические мероприятия, направленные на сокращение объема азотных и фосфорных соединений в водах, сбрасываемых от сельскохозяйственных источников (полей, животноводческих объектов и др.) в окружающую среду.

К агротехническим мероприятиям относятся бесплужная обработка почвы и прямой посев семян в почву после уборки предшествующей культуры с использованием культиваторов, карусельных или дисковых борон и др. Более предпочтительной является весенняя культивация, при которой укоренившиеся весной культуры создают поверхностный покров и забирают минерализованный азот, снижая риск его вымывания. Этому также способствует использование комбинированного посева с использованием агрегата для одновременного посева семян и внесения удобрений.

Еще одним техническим мероприятием, контролирующим рациональное внесение удобрений на поля, является применение глобальной системы позиционирования (GPS). С этой целью используется разбрасыватель удобрений с оборудованием для их дифференцированного внесения на поля и соответствующей навигационно-управляющей системой.

При внесении жидких органических удобрений сокращению вымывания с полей азота и фосфора способствуют технические средства для поверхностного ленточного и внутripочвенного их внесения.

Лучше всего питательные вещества доставляются растениям из почвы с показателем кислотности pH, равным 6,5–7,2. Даже при небольшом подкислении почвы с pH ниже 6,5 поглощение растениями азота и фосфора снижается. Для регулирования pH почвы в сторону слабокислой или нейтральной применяется ее известкование с использованием соответствующих разбрасывателей. В результате известкования возрастает поглощение фосфора некоторыми растениями, например, злаками в 2–3 раза, овсом примерно на 60 % и клевером примерно на 10–20 %. Лучшее усвоение питательных элементов растениями означает, что риск их потери снижается.

Для достижения максимальной эффективности использования органических и минеральных удобрений их нужно полностью заделывать в почву после внесения на поля. Заделка органических и химических удобрений может осуществляться таким оборудованием, как плуг, дисковые или лапные культиваторы в зависимости от типа почвы и почвенных условий. Заделка обычно выполняется как отдельная рабочая операция. Рекомендуется заделывать навоз таким образом, чтобы поддерживать поверхностные остатки при помощи таких минимальных методов обработки почвы, как рыхление или инъекция.

### **Список использованных источников**

1. Агроэкология = Agroecology : учебник / В. А. Черников, Р. М. Алексахин, А. В. Голубев [и др.] ; под ред. В. А. Черникова, А. И. Чекереса. – М. : Колос, 2000. – 536 с.
2. Горовой, С. А. Процессы безотвальной обработки почвы / С. А. Горовой, Е. И. Пименова // Столыпинский вестник. – 2022. – № 9 – С. 5332–5336.
3. No-till – шаг к идеальному земледелию: учеб.-метод. пособие ; под ред. В. В. Батурина. – М. : Народное образование. Проект «Идеальное земледелие», 2006. – 120 с.

**А. А. Жешко**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*E-mail: azeshko@gmail.com*

## **АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА КАЧЕСТВО ВНЕСЕНИЯ ТВЕРДЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

*Аннотация.* В статье представлены основные характеристики некоторых минеральных удобрений и химмелиорантов, выполнен анализ способов внесения удобрений и видов разбрасывателей, рассмотрена структура потенциальных потерь удобрений в случае некачественного их внесения.

*Ключевые слова:* твердые минеральные удобрения, химические мелиоранты, структура потерь, нормы внесения, основное внесение, подкормка.

**A. A. Zheshko**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"*

*Minsk, Republic of Belarus*

*E-mail: azeshko@gmail.com*

## **ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE QUALITY OF APPLICATION OF SOLID MINERAL FERTILIZERS**

*Abstract.* The article presents the main characteristics of some mineral fertilizers and chemical meliorants, analyzes the methods of applying fertilizers and types of spreaders, and considers the structure of potential losses of fertilizers in case of poor-quality application.

*Keywords:* solid mineral fertilizers, chemical meliorants, loss structure, application rates, basic application, top dressing.

### **Введение**

Для эффективного применения твердых минеральных удобрений необходим всесторонний анализ значительного количества факторов. Прежде всего нужно учитывать различные виды минеральных удобрений и их физико-механические свойства, особенности и дозы внесения, а также виды технических средств, которые используются для распределения удобрений. Также необходимо учитывать возможные потери удобрений при их доставке от завода до непосредственного места внесения.

### **Основная часть**

К удобрениям относят элементы питания растений, а также бактериальные препараты, которые способствуют повышению урожайности сельскохозяйственных культур, мобилизуют элементы питания, которые находятся в почве, и улучшают ее структуру. Культурным растениям для успешного развития и роста требуется пополнение питательных веществ, таких как азот N, фосфор P и калий K, которые они получают в виде вносимых удобрений [1, с. 27; 2, с. 18; 3, с. 120].

В зависимости от агрономического назначения можно выделить *прямые* и *косвенные* удобрения. Первые делятся на *односторонние*, которые содержат в каждой частице один питательный элемент, и содержащие от двух и более питательных элементов *комплексные* удобрения [2, с. 5–20; 4].

Для усиления биологических процессов и улучшения свойств почвы применяются *косвенные* удобрения. К ним относят биологические удобрения и химические мелиоранты [5, с. 112].

В зависимости от метода получения и места происхождения удобрений их можно разделить на *местные* – органические и промышленно произведенные *заводские*, к которым относятся минеральные удобрения или туки. Наиболее распространенным является разделение удобрений на *органические* и *минеральные*.

В зависимости от «конструкции» минеральных удобрений можно выделить *простые, сложные, комбинированные, смешанные, сложно-смешанные* [6, с. 35; 7, с. 37].

По агрегатному состоянию можно выделить *твердые* и *жидкие* удобрения. Отдельно следует выделить жидкий безводный аммиак, который хранится в цистернах под давлением и образует газ, превращаясь в гидроксид аммония, при этом он не вымывается и не улетучивается после попадания в почву. Жидкие растворы удобрений могут не содержать твердых включений или являться растворами-суспензиями с содержанием твердых частиц [7, с. 297; 8, с. 96].

Твердые удобрения подразделяются на *активно сыпучие*, к которым относятся *азрируемые (пылевидные)* химические мелиоранты и *неазрируемые* твердые минеральные удобрения, а также *пассивно сыпучие* – большинство органических удобрений, торфонавозные компосты.

Минеральные удобрения характеризуются количеством действующего вещества, выраженного в процентном отношении. Для азотных удобрений количество действующего вещества определяется содержанием в них азота N, фосфорные удобрения – содержанием окиси фосфора  $P_2O_5$ , калийные удобрения – содержанием окиси калия  $K_2O$  [9, 10, 11].

В таблице приведена характеристика твердых минеральных удобрений, выпускаемых заводами Республики Беларусь. Твердые азотные удобрения получают путем прилливания и гранулирования. При прилливании расплав разбрызгивают в воздушной среде, в результате чего капли затвердевают и получают однородные по размерам прилли. Гранулированный карбамид получают в барабанных или тарельчатых грануляторах.

**Характеристика некоторых минеральных удобрений и химмелиорантов,  
выпускаемых заводами Республики Беларусь**

Наименование, химическая формула	Внешний вид, размер	ГОСТ или ТУ	Содержание питательных веществ, %
Карбамид прилливанный (насыпью), $H_2N-CO-NH_2$	Приллы белого цвета или слегка окрашенные, 1–4 мм	ГОСТ 2081-2010	Массовая доля азота в пересчете на сухое вещество не менее 46,2
Карбамид гранулированный, $H_2N-CO-NH_2$	Гранулы или кристаллы белого цвета или слегка окрашенные, 1–4 мм	ГОСТ 2081-2010	46,2
Смесь карбамидо-аммиачная КАС-30, $NH_4NO_3-(NH_2)_2CO-H_2O$	Бесцветная или слегка окрашенная жидкость	ТУ РБ 500036524.054-2004	30
Сульфат аммония (насыпью), $CaH_2PO_4)_2 \times H_2O + 2CaSO_4 \times 2H_2O$	Белые или прозрачные кристаллы, 0,5–6 мм	ГОСТ 9097-82	Не менее 21
Суперфосфат, $CaH_2PO_4)_2 \times H_2O + 2CaSO_4 \times 2H_2O$	Гранулы серого цвета 1–4 мм	ГОСТ 5956-78	$P_2O_5$ не менее 18–19
Азотно-фосфорно-калийные удобрения	Гранулы розового цвета, 1–5 мм	ТУ ВУ 400069905.020-2003	N – 8–16 $P_2O_5$ – 16–24; $K_2O$ – 16–30
Аммофос, $(NH_4)_2HPO_4$	Светло-серые гранулы, растворимые в воде, 0,5–4 мм	ГОСТ 18918-85 (СТ СЭВ 3372-81) ТУ ВУ 400069905.030-2006	азота 10–13, фосфатов 35–52
Калий хлористый гранулированный KCl	Гранулы неправильной формы от серовато-белого до красно-бурого цвета, 1–4 мм, прочность 80–85 %	ГОСТ 4568-95; ТУ РБ 600122610.010-2002	$K_2O$ –60
Доломитовая мука, $CaMg(CO_3)_2$	Рыхлая или сыпучая масса, до 1 мм	ГОСТ 14050-93	



Сведения о содержании питательных веществ в удобрениях позволяют консолидировать их с данными о плодородии почвы и определить дозу вносимых удобрений на 1 га в физическом весе. Сведения о химическом составе удобрений позволяют разрабатывать защитные покрытия для узлов сельскохозяйственных машин, что дает возможность предотвратить или свести к минимуму коррозионное воздействие на элементы конструкции [12, с. 198].

Всего в сельскохозяйственных предприятиях страны применяют около 30 наименований минеральных удобрений. Все они отличаются физико-механическими свойствами. Как видно из таблицы, большинство частиц твердых минеральных удобрений находится в диапазоне 1–4 мм.

*Способы внесения удобрений.* Существует три наиболее распространенных способа внесения удобрений: *основное (сплошное), припосевное* внесение и *подкормка*.

Сплошным способом вносят около 70 % минеральных удобрений и химические мелиоранты. После внесения удобрения заделываются в почву плугами или другими почвообрабатывающими машинами. Одним из основных требований агротехники к процессу сплошного внесения удобрений является равномерность распределения материала по площади поля при постоянстве заданной дозы. Особенно это требование важно для наименее подвижных в почве фосфорных удобрений, которые являются труднорастворимыми.

Важнейшим агротехническим требованием также является качественная заделка удобрений, которая обусловлена будущей возделываемой культурой, типом почвы и видом удобрений. От применяемых при заделке почвообрабатывающих машин зависит размещение удобрений в верхних горизонтах почвы. Если осуществлять заделку тяжелой бороной в почвенном горизонте 0–4 см остается 65–55 % удобрений, при обработке легкой бороной в два следа в названном горизонте будет около 75 %, а при использовании легкой бороны в один след – 85 % удобрений [2, с. 8]. При заделке удобрений культиватором с увеличением глубины обработки от 10 до 20 см наблюдается уменьшение содержания удобрений в почвенном горизонте 0–4 см с 70 до 40 %. Также углубляет на 2 см размещение удобрений обработка в два следа культиватором или бороной.

В случае заделки удобрений плугом на глубину вспашки 30 см в почвенном горизонте 16–26 см размещается 60–70 % удобрений, внесенных сплошным разбрасыванием по полю, при обработке на глубину 20 см отвальным плугом 80 % удобрений разместится на глубине 5–20 см.

Обработка культиваторами с плоскорежущими лапами на глубину 12 см размещает в слое 0–5 см 38 % удобрений, а оставшиеся попадают в слой 5–12 см. Высокие показатели равномерности распределения удобрений в почве обеспечивают почвообрабатывающие фрезы [2, с. 15].

Таким образом, в зависимости от физиологических особенностей будущей возделываемой культуры и особенностей ее корневой системы можно регулировать размещение удобрений в почве путем выбора определенных почвообрабатывающих орудий, их технологических параметров и количества обработок.

Припосевное (местное) внесение удобрений осуществляется вместе с посевом или посадкой сельскохозяйственных культур в рядках. При этом удобрения должны располагаться с учетом особенностей корневой системы растений. А также следует учитывать различную подвижность в почве в зависимости от вида удобрений [12, 13, 14]. Учитывая, что фосфорные удобрения имеют наименьшую подвижность, допускается внесение гранулированного суперфосфата вместе с семенами зерновых культур. Более подвижные удобрения должны быть отделены от семян прослойкой почвы для исключения повреждения корневой системы, например, для семян свеклы это значение должно составлять 0,5–1 см.

Подкормки выполняют при уходе за сельскохозяйственными культурами. Для зерновых культур и трав осуществляют *внекорневую* подкормку путем рассева удобрений по всей площади возделываемого участка. Корневую подкормку пропашных культур осуществляют для пропашных культур, когда удобрения вносят вдоль рядков на заданном расстоянии и заделывают в почву [15, 16].

Практикой доказано, что наибольшая прибавка урожая обеспечивается при комбинировании основного, припосевого и подкормочного внесения удобрений.

*Нормы внесения удобрений, влияние кислотности почв и содержания гумуса.* Важнейшим показателем технической характеристики машин химизации является диапазон внесения удобрений. При этом следует различать дозу и норму внесения удобрений. Под дозой понимается

количество питательных элементов, которые требуется внести, тогда как нормой является количество вносимых удобрений в физическом весе.

При сплошном (основном) внесении применяют от 100 до 1 000 кг/га, при подкормке прикорневой и внекорневой – от 20 до 100 кг/га удобрения в физическом весе.

Эффективность применения минеральных удобрений существенно зависит от кислотности почв. На сильнокислых почвах, согласно данным агрохимической науки, эффективность минеральных удобрений снижается на 50 %, а на кислых – на 20–30 %. Неравномерность распределения химических мелиорантов по площади поля также существенно влияет на урожайность сельскохозяйственных культур.

Увеличение содержания гумуса в почве улучшает ее физико-механические свойства, что способствует повышению эффективности применения минеральных удобрений. Кроме того, повышение содержания гумуса приводит к снижению коэффициента трения почвы, что уменьшает тяговое сопротивление машин химизации для внутрипочвенного внесения удобрений, почвообрабатывающих машин, а также техники для посева и посадки сельскохозяйственных культур.

*Классификация машин для внесения удобрений.* По способу агрегатирования с энергетическим средством машины для внесения удобрений делятся на *навесные, полуприцепные, прицепные и комбинированные*. Выполнять технологическую операцию внесения удобрений приходится на полях с неправильной конфигурацией, на склонах и на полях с неровным рельефом, что предполагает дополнительные требования к конструктивным параметрам машин.

Парк разбрасывателей минеральных удобрений в республике представлен преимущественно навесными разбрасывателями грузоподъемностью 0,5–1,5 т. Работа таких машин по прямой технологии неэффективна ввиду частого перемещения от места складирования к полю. В этой связи для заправки навесных разбрасывателей в поле применяют автомобильный или тракторный транспорт для подвозки удобрений. Перегрузка удобрений из прицепа в кузов разбрасывателя осуществляется, как правило, вручную, что существенно снижает производительность навесных машин. Для повышения сменной производительности целесообразно использовать универсальные средства, которые обеспечивают механизированную загрузку удобрений на складе, транспортировку их в поле и перегрузку в разбрасыватели удобрений.

Вид вносимого удобрения также определяет конструктивно-технологическую схему машин химизации. В наибольшей степени по данному критерию получил подход деления на машины химизации для внесения:

- азота (N);
- фосфора и калия (P и K);
- известковых материалов.

Отступления от данного принципа деления машин приводят к возникновению потерь удобрений по причине их некачественного внесения (см. рисунок). Таким образом некачественное внесение удобрений имеет сразу две подоплеки: экономическую, связанную со снижением окупаемости удобрений и экологическую – загрязнение окружающей среды. Снижение окупаемости приводит к недобору биологического урожая и ухудшению его свойств. В свою очередь неоднородность свойств приводит к неоднородности структуры урожая и полеглости хлебов. Полеглость хлебов является основной причиной потерь урожая при механизированной уборке и снижения производительности машин для внесения удобрений. Неоднородность структуры урожая приводит к снижению технологических и биологических свойств зерна. К технологическим свойствам зерна относятся структурно-механические, физико-химические, биохимические и другие свойства. К биологическим – химические свойства зерна, распределение химических веществ и др.

Допускаемая неравномерность внесения азотных удобрений не должна превышать 10 %, что является наиболее жестким требованием в сравнении с другими минеральными удобрениями. Причиной тому является тот факт, что растения потребляют до 60 % внесенного азота, оставшаяся часть смывается или улетучивается, тем самым загрязняя грунтовые воды и окружающую среду. Первая доза азотных удобрений вносится перед посевом, после следует внесение весной под низкие посевы и далее азотные удобрения вносятся, когда посевы достигают высоты 60–90 см.



Структура потерь удобрений при некачественном их внесении

Важным обстоятельством в структуре потерь удобрений от некачественного их внесения является несоблюдение оптимальных сроков подкормки азотными удобрениями. В зависимости от возделываемой культуры первая подкормка ограничена сроками 4–6,5 дней, вторая 2,4–3 дня и третья 1–3,8 дня. По причине недостатка машин для внесения подкормочных доз удобрений отклонения от оптимальных сроков подкормки могут увеличиваться на 3–5 дней. Превышение допустимых сроков подкормки на 1 день приводит к потере 0,3 ц/га зерна. Трехдневное превышение приведет к потере 0,9 ц/га зерна. Учитывая, что посевные площади под зерновыми и зернобобовыми культурами под урожай 2022 г. в Республике Беларусь составляют 1,9 млн га озимые и 2,2 млн га яровые культуры, то недобор по причине отклонения от оптимальных сроков подкормки может составлять 369 тыс. т зерна. Принимая во внимание затраты топлива на 1 т зерна, которые в среднем составляют 28–30 кг, непроизводительно будет затрачено 10 710 т топлива.

Внесение удобрений зачастую совмещают с другими технологическими операциями: обработкой почвы, посевом, мероприятиями по уходу за сельскохозяйственными культурами, что способствует снижению количества проходов техники по обрабатываемым участкам и более эффективному использованию питательных веществ.

В мировой практике получило распространение внесение фосфорных и калийных удобрений «в запас», что способствует окультуриванию почвы, уменьшает количество проходов техники. Однако внесение фосфорных и калийных удобрений перед посевом и посадкой способствует более эффективному потреблению питательных веществ культурными растениями. Таким образом нужно находить баланс между снижением количества проходов техники и оптимальными условиями для питания культурных растений.

Совокупность перечисленных разновидностей машин, удобрений, способов внесения и диапазон норм, накладывают ограничения на машины химизации земледелия.

## Заключение

Подводя итог, необходимо подчеркнуть, что некачественное применение удобрений является причиной недобора урожая сельскохозяйственных культур, а также приводит к загрязнению окружающей среды. Для повышения эффективности применения удобрений необходимо разрабатывать высокоточные технические средства, позволяющие равномерно распределять удобрения по поверхности поля. Перспективным направлением является также внутривиточное внесение твердых минеральных удобрений.

## Список использованных источников

1. Степук, Л. Я. Доказательства необходимости разработки и реализации государственной научно-технической программы приоритетного сельхозмашиностроения / Л. Я. Степук // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвященной 75-летию образования РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», Минск, 20–21 октября 2022 г. ; редкол.: П. П. Казакевич [и др.]. – Минск, 2022. – С. 27–33.
2. Догановский, М. Г. Машины для внесения удобрений. Конструкция, теория, расчет и испытания / М. Г. Догановский, Е. В. Козловский. – М. : Машиностроение, 1972. – 272 с.
3. Hasler, K. Environmental impact of mineral fertilizers: possible improvements through the adoption of eco-innovations / PhD thesis, Wageningen University, Wageningen, the Netherlands. – 2017. – 158 p.
4. Reactive Nitrogen. – URL: <https://unece.org/ru/reactive-nitrogen> (date of access: 08.01.2024).
5. Экологические аспекты применения удобрений в современном земледелии / Ю. И. Гречишкина, А. Н. Есаулко, Л. С. Горбатко // Вестник АПК Ставрополя. – 2012. – №3(7). – С. 112–114.
6. Узаков, З. З. Экологические проблемы применения минеральных удобрений / З. З. Узаков, С. Халикова, А. Эгамбердиев // Символ науки. – 2018. – № 4. – С. 35–37.
7. Вильдфлуш, И. Р. Влияние новых форм удобрений и регуляторов роста на фотосинтетическую деятельность посевов, урожайность и качество зерна сортов ячменя кормового назначения / И. Р. Вильдфлуш, А. Р. Цыганов, Н. В. Барбасов // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2019. – Т. 57, № 3. – С. 297–307.
8. Ломонос, О. Л. Динамика применения удобрений и потери элементов питания на сельскохозяйственных землях Беларуси / О. Л. Ломонос, М. М. Ломонос // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. – 2023. – № 2. – С. 96–104.
9. Виды органических удобрений и методика расчета их потребности для обеспечения бездефицитного баланса гумуса в пахотных почвах / Т. М. Серая, Е. Н. Богатырева, Т. М. Кирдун, Н. Ю. Жабровская // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 2. – С. 37–56.
10. Конончук, В. В. Эконометрический анализ использования различных видов органических удобрений в формировании урожайности сельскохозяйственных культур / В. В. Конончук, Л. Н. Иовик // Экологический вестник. – 2016. – № 2 (36). – С. 104–109.
11. Тиво, П. Ф. Экологические аспекты использования бесподстилочного навоза / П. Ф. Тиво, С. М. Крутько, Л. А. Саскевич, Н. А. Гендик // Мелиорация. – 2010. – №2(64). – С. 129–138.
12. Степук, Л. Я. Механизация, экологизация и экономика сферы химизации земледелия Беларуси: проблемы и пути решения / Л. Я. Степук, В. Р. Петровец // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 3. – С. 198–204.
13. Сорока, С. В. Фитосанитарное состояние посевов в Беларуси и совершенствование системы защиты / С. В. Сорока, Е. А. Якимович // Образование, наука и производство. – 2014. – № 2 (7). – С. 68–72.
14. Кот, Т. П. Повышение эффективности обработки вегетирующих культур обоснованием параметров воздухораспределительной и гидравлической систем штанговых опрыскивателей : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Кот Татьяна Петровна ; РУНИП «Ин-т механизации сельского хозяйства НАН Беларуси». – Минск, 2006.
15. Яшин, С. Н. Применение S-образных логистических кривых при оценке и прогнозировании инновационного потенциала предприятия / С. Н. Яшин, С. В. Тихонов // Финансы и кредит. – 2015. – № 43. – С. 37–50.
16. Николаева, В. М. Методика прогнозирования перспективности освоения инновационной технологии в производстве / В. М. Николаева, В. Н. Тисенко, В. С. Черняк // Инновации. – 2016. – № 4 (210). – С. 104–110.

**А. А. Жешко**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: azeshko@gmail.com*

## **КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ПОТЕРЬ ОТ НЕРАВНОМЕРНОГО ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ**

*Аннотация.* В статье представлены аналитические зависимости изменения потенциальной урожайности сельскохозяйственных культур, связанные с неравномерностью распределения твердых минеральных удобрений по поверхности поля. Представлены графические зависимости, отражающие изменение коэффициента относительных потерь удобрений при различных значениях коэффициента вариации.

*Ключевые слова:* твердые минеральные удобрения, неравномерность распределения, коэффициент вариации, коэффициент относительных потерь.

**A. A. Zheshko**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: azeshko@gmail.com*

## **CRITERIA FOR ASSESSING LOSSES FROM UNEVEN FERTILIZATION**

*Abstract.* The article presents analytical dependences of changes in the potential yield of agricultural crops depending on the uneven distribution of solid mineral fertilizers over the field surface. Graphical dependences reflecting the change in the coefficient of relative losses of fertilizers at different values of the coefficient of variation are presented.

*Keywords:* solid mineral fertilizers, uneven distribution, coefficient of variation, coefficient of relative losses.

### **Введение**

Нахождение и формализация функции отклика урожайности сельскохозяйственных культур от дозы вносимых удобрений является одной из наиболее популярных задач агрохимической науки на протяжении более 100 последних лет. В настоящее время существует множество одномерных моделей, которые позволяют анализировать продуктивность сельскохозяйственных культур в зависимости от одного значимого фактора, например, дозы вносимых азотных удобрений, при постоянстве других факторов. Увеличение количества факторов агрономического опыта позволяет избежать возможных ошибок в расчетах, что особенно актуально в зоне «рискованного земледелия», характерной для Беларуси [1, с. 321–334; 2, с. 304–318].

Широкую известность получили классические модели описания продуктивности сельскохозяйственных культур, которые разрабатывали Юстус фон Либих (1855), Э. Митчерлих (1909), Пфайфер и Фролих (1912), Б. Бауле (1918), Шпильманн (1923), В. Богуславский (1962) и другие ученые [3, с. 128–132; 4].

В исследовании, проведенном Р. Гриффином [5, с. 216–227], выделено двадцать различных типов функций, которые использованы для аппроксимации продуктивности сельскохозяйственных культур. Среди них функция Э. Митчерлиха, квадратичная функция, производственная функция В. Леонтьева, кубическая, линейная и другие функции. Для нахождения критерия оценки потерь от неравномерного внесения удобрений необходимо подробно рассмотреть существующие функции продуктивности и выявить взаимосвязь между качеством распределения удобрений и урожайностью сельскохозяйственных культур.



## Основная часть

Наиболее цитируемыми в литературных источниках являются:

– функция Э. Митчерлиха (Mitcherlich, 1909) [6, с. 269–295; 7, с. 2–3]

$$Y_{Mt} = A_u (1 - e^{-cX}), \quad (1)$$

где  $A_u$  – максимальная для данных условий урожайность культуры, т/га;  $c$  – эмпирический коэффициент;

– квадратичная модель отклика (Pfeifer & Frolich, 1912) [8, с. 107–116; 2, 304; 9, с. 122–132; 10, с. 681–689]:

$$Y_{Pf} = c_0 + c_1X - c_2X^2. \quad (2)$$

Также следует выделить полином третьей степени [11, с. 247]:

$$Y_{St} = c_0 + c_1X + c_2X^2 + c_3X^3. \quad (3)$$

Уравнения, представленные формулами (1), (2) и (3), позволяют определять влияние дозы удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур. По форме кривой существующие модели представляют собой возрастающие выпуклые линии с замедляющимся ростом или выходом на плато [4] (рисунок 1).

По причине неравномерного внесения удобрений доза их будет неодинаковой в различных участках поля. Таким образом существует различие между заданной и фактической дозами внесения удобрений, которое можно оценить коэффициентом вариации  $V$ , что в конечном итоге отразится на величине урожайности (рисунок 2).

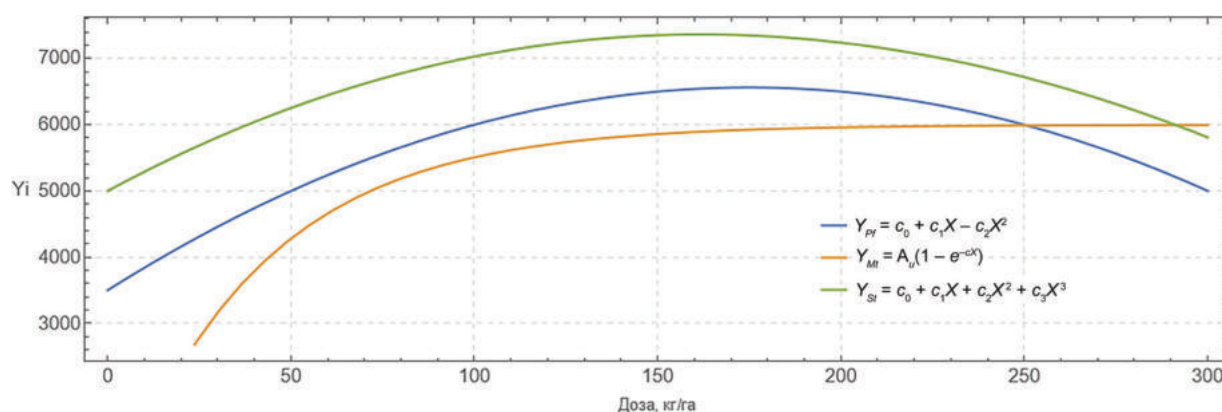


Рисунок 1 – Классические функции урожайности (продуктивности) сельскохозяйственных культур

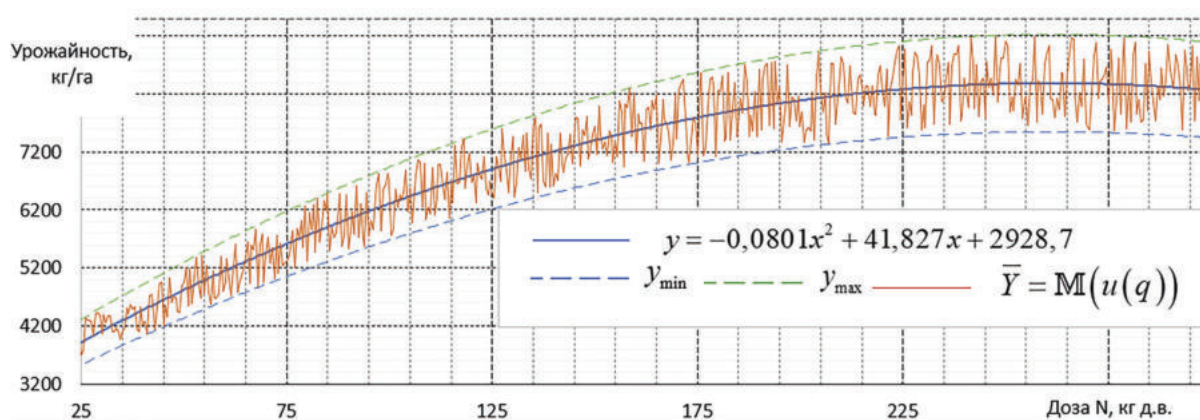


Рисунок 2 – Изменение дозы вносимых удобрений по причине неравномерного их внесения

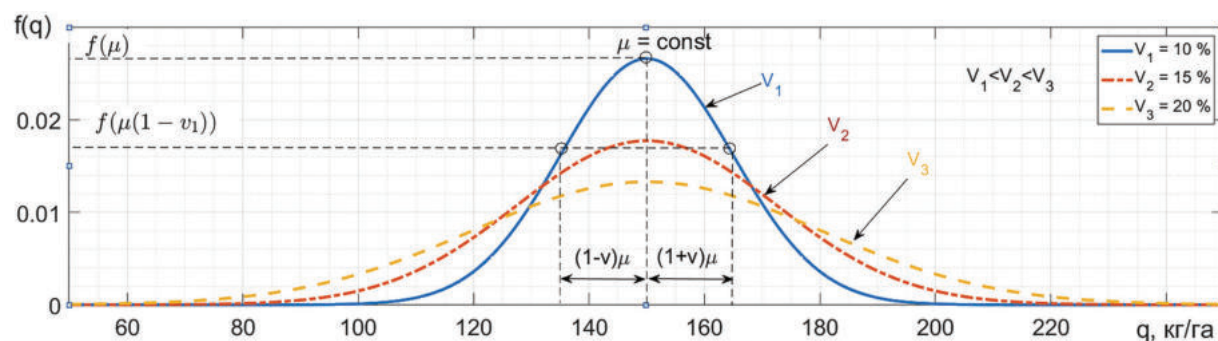


Рисунок 3 – График плотности распределения дозы минеральных удобрений  $f(q)$  для различных коэффициентов вариации  $V$  при постоянной средней дозе внесения  $\mu = \text{const}$

Причиной неравномерного внесения удобрений может служить несовершенство конструкции машин для внесения удобрений, а также уровень дифференциации внесения, рациональность организации технологического процесса и ряд других факторов. В работе исследователей [12, с. 943–952; 13, с. 16–21; 14, с. 85–88] предложены закономерности, подтверждающие непосредственное влияние на величину урожайности коэффициента вариации  $V$ .

Для оценки потерь от неравномерного внесения удобрений необходимо установить функциональную взаимосвязь между урожайностью сельскохозяйственных культур и качественными характеристиками распределения удобрений по поверхности поля.

Для характеристики неравномерности распределения удобрений используют коэффициент вариации  $V$ , который определяется как отношение стандартного отклонения  $\sigma$  к среднему значению дозы  $\mu$  [15, с. 31]:

$$V = \sigma / \mu, \quad (4)$$

где  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение дозы удобрений, кг/га;  $\mu$  – средняя доза удобрений, кг/га.

Согласно мнению исследователей [13; 14; 15; 16, с. 16–25], распределение удобрений по полю подчиняется нормальному закону распределения. Тогда плотность распределения дозы минеральных удобрений по рабочему участку (рисунок 3) можно представить в виде

$$f(q) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(q-\mu)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{V\mu\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(q-\mu)^2}{2V^2\mu^2}}, \quad (5)$$

где  $q$  – доза вносимых удобрений в физическом весе, кг/га.

Как видно из рисунка 3, кривая плотности нормального распределения дозы минеральных удобрений  $f(q)$  имеет симметричный вид относительно прямой  $q = \mu$  с максимумом в точке, соответствующей средней дозе удобрений  $\mu$ .

Значение максимума функции плотности распределения дозы минеральных удобрений определяется по формуле:

$$f(\mu) = \frac{1}{\mu V_i \sqrt{2\pi}}, \quad (6)$$

где  $V_i = \sigma_i / \mu$  – коэффициент вариации при постоянной дозе внесения удобрений  $\mu = \text{const}$ .

Точки перегиба кривой имеют координаты  $\left(\mu(1-V_i); \frac{1}{V_i\mu\sqrt{2\pi}e}\right)$  и  $\left(\mu(1+V_i); \frac{1}{V_i\mu\sqrt{2\pi}e}\right)$ .

Рассмотрим влияние параметров  $V$  и  $\mu$  на вид графиков функции распределения удобрений. Учитывая, что площадь под кривой плотности распределения равна:

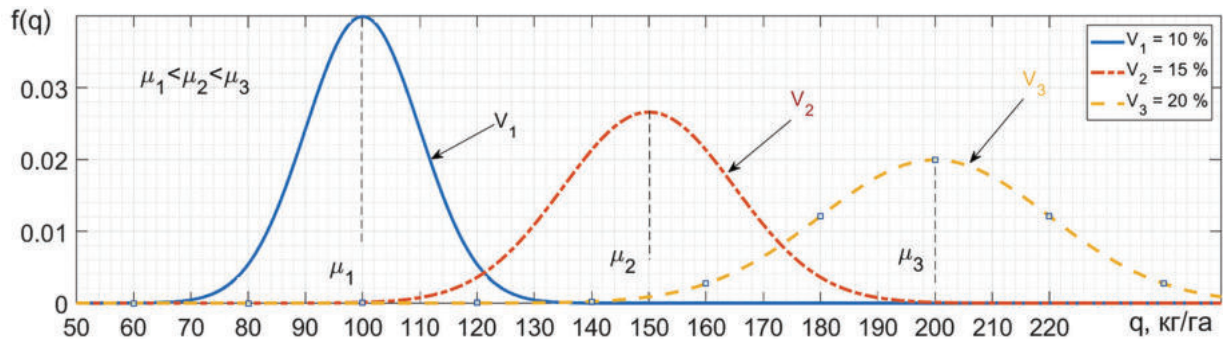


Рисунок 4 – График плотности распределения дозы минеральных удобрений  $f(q)$  для различных коэффициентов вариации  $V$  при изменении средней дозы внесения  $\mu_i$

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(q) dq = \frac{1}{V\mu\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{(q-\mu)^2}{2V^2\mu^2}} dq = \left| \begin{array}{l} y = \frac{q-\mu}{V\mu} \\ \frac{dy}{dq} = \frac{1}{V\mu} \\ dq = V\mu dy \end{array} \right| = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{y^2}{2}} dy = 1. \quad (7)$$

Таким образом, при увеличении коэффициента вариации  $V$  и постоянной средней дозы удобрений  $\mu = \text{const}$  кривая плотности распределения становится более полой и вытянутой вдоль оси абсцисс.

Если изменяется средняя доза вносимых удобрений  $\mu_i$ , то кривая плотности распределения дозы удобрений смещается вдоль горизонтальной оси (рисунок 4).

Функция отзывчивости удобрений на урожай [17; 18]:

$$y = u(q) = c_0 + c_1 q - c_2 q^2, \quad (8)$$

$$\bar{Y} = M(u(q)) = c_0 + c_1 M(q) - c_2 M(q^2).$$

$$\begin{aligned} M(q) &= \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} q e^{-\frac{(q-\mu)^2}{2\sigma^2}} dq = \left| \begin{array}{l} y = \frac{q-\mu}{\sigma}, \quad q = \sigma y + \mu \\ \frac{dy}{dq} = \frac{1}{\sigma} \rightarrow dq = \sigma dy \end{array} \right| = \\ &= \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} y e^{-\frac{y^2}{2}} dy + \frac{\mu}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{y^2}{2}} dy = \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}} \times 0 + \frac{\mu}{\sqrt{2\pi}} \times \sqrt{2\pi} = \mu. \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} M(q^2) &= \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} q^2 e^{-\frac{(q-\mu)^2}{2\sigma^2}} dq = \left| \begin{array}{l} y = \frac{q-\mu}{\sigma}, \quad q^2 = \sigma^2 y^2 + 2\sigma y \mu + \mu^2 \\ \frac{dy}{dq} = \frac{1}{\sigma} \rightarrow dq = \sigma dy \end{array} \right| = \\ &= \frac{\sigma^2}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} y^2 e^{-\frac{y^2}{2}} dy + \frac{2\mu\sigma}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} y e^{-\frac{y^2}{2}} dy + \frac{\mu^2}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{y^2}{2}} dy = \\ &= \frac{\sigma^2}{\sqrt{2\pi}} \times \sqrt{2\pi} + \frac{2\mu\sigma}{\sqrt{2\pi}} \times 0 + \frac{\mu^2}{\sqrt{2\pi}} \times \sqrt{2\pi} = \sigma^2 + \mu^2. \end{aligned} \quad (10)$$

Учитывая, что по формуле (3) урожайность может определяться через полином третьей степени, определим значение:

$$M(q^3) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} q^3 e^{-\frac{(q-\mu)^2}{2\sigma^2}} dq = \mu(\mu^2 + 3\sigma^2). \quad (11)$$

Тогда:

$$\bar{y} = M(u(q)) = c_0 + c_1\mu - c_2(\sigma^2 + \mu^2) = |\sigma = V\mu| = c_0 + c_1\mu - c_2\mu^2(V^2 + 1). \quad (12)$$

Для нахождения относительных потерь удобрений запишем:

$$\psi = \frac{y - \bar{y}}{y} = \frac{q(c_1 + c_2q) - \mu(c_1 + c_2V^2 + c_2)}{c_0 + q(c_1 + c_2q)}. \quad (13)$$

Обозначим снижение дозы удобрений от неравномерного их внесения  $\Delta\mu$ , тогда средняя доза составит:

$$\bar{y} = c_0 + c_1(\mu - \Delta\mu) - c_2(\mu - \Delta\mu)^2. \quad (14)$$

Приравнивая формулы (12) и (14), и решая относительно  $\Delta\mu$ , определяем абсолютные потери удобрений от неравномерного внесения:

$$c_0 + c_1(\mu - \Delta\mu) - c_2(\mu - \Delta\mu)^2 = c_0 + c_1\mu - c_2\sigma^2 - c_2\mu^2. \quad (15)$$

Учитывая, что доза минеральных удобрений  $\mu_0$ , при которой обеспечивается максимальный урожай, в соответствии составит:

$$\mu_0 = \frac{c_1}{2c_2}. \quad (16)$$

Тогда:

$$\xi = \frac{\Delta\mu}{\mu} = \frac{\mu - \mu_0 + \sqrt{\sigma^2 + (\mu - \mu_0)^2}}{\mu} = \frac{\mu - \mu_0 + \sqrt{V^2\mu^2 + (\mu - \mu_0)^2}}{\mu}. \quad (17)$$

Найдем отношение снижения дозы от неравномерного внесения удобрений  $\Delta\mu$  и средней дозы удобрений  $\mu$ , тем самым получим значение относительных потерь удобрений от неравномерного их распределения:

$$\xi = \frac{\Delta\mu}{\mu} = \frac{\mu - \mu_0 + \sqrt{\sigma^2 + (\mu - \mu_0)^2}}{\mu} = \frac{\mu - \mu_0 + \sqrt{V^2\mu^2 + (\mu - \mu_0)^2}}{\mu}. \quad (18)$$

Рассмотрим, как изменяется коэффициент относительных потерь удобрений  $\xi$  при варьировании дозы удобрений и коэффициента вариации (рисунки 5 и 6).

Как видно из рисунка 5, при внесении различных доз минеральных удобрений с неизменным качеством их распределения, например, при  $V = 0,2$  коэффициент потерь удобрений остается неизменным.

Из графика, представленного на рисунке 6, видно, что если средняя доза внесения удобрений постоянна, т. е.  $\mu_0 = \text{const}$ , то при увеличении коэффициента вариации  $V$  наблюдается возрастание коэффициента относительных потерь удобрений  $\xi$ . Таким образом коэффициент относительных потерь минеральных удобрений  $\xi$  позволяет объективно оценить потери от неравномерного их внесения.

Для оценки потерь удобрений от неравномерного внесения для различных коэффициентов вариации построим график, отражающий зависимость потенциальных потерь урожая при значении коэффициентов  $c_0 = 2928,7$ ;  $c_1 = 41,827$ ;  $c_2 = -0,081$ . Как видно из рисунка 7 для средней дозы внесения  $\mu_0 = 250$  кг/га при коэффициенте вариации  $V = 0,15$  абсолютные потери урожая достигают 113 кг/га.

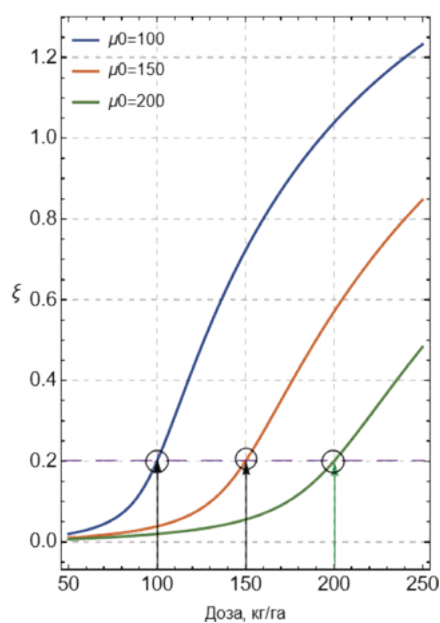


Рисунок 5 – Изменение коэффициента относительных потерь удобрений при различных дозах внесения удобрений ( $V = \text{const}$ )

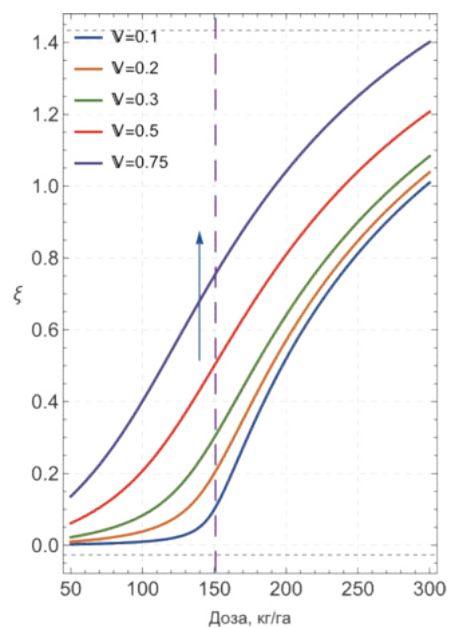


Рисунок 6 – Изменение коэффициента относительных потерь удобрений при различных значениях коэффициента вариации ( $\mu_0 = \text{const}$ )

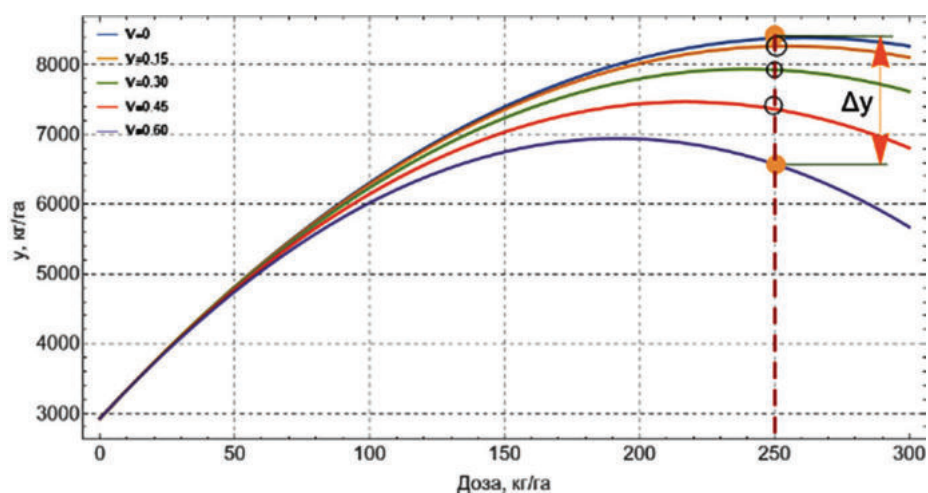


Рисунок 7 – Потери потенциального урожая в зависимости от неравномерности внесения удобрений для средней дозы внесения  $\mu_0 = 250$  кг/га

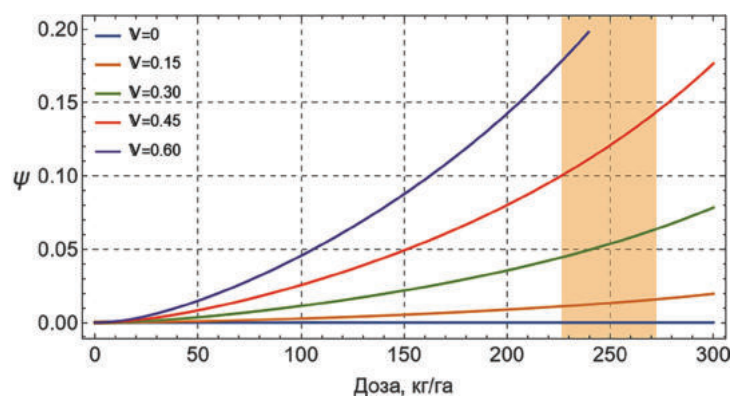


Рисунок 8 – График изменения относительных потенциальных потерь удобрений в зависимости от коэффициента вариации для средней дозы внесения



Из рисунка 8 видно, что с увеличением неравномерности распределения удобрений до  $V = 0,15$  теряется 1,34 % урожая. Относительные возможные потери удобрений от нерационального их использования по причине неравномерного внесения отображены на рисунке 8, где представлена зависимость изменения относительных потерь удобрений от коэффициента вариации для средней дозы внесения  $\mu_0 = 250$  кг/га.

### Заключение

Таким образом, неравномерное внесение является одним из наиболее негативных факторов, который приводит не только к потерям урожая сельскохозяйственных культур, но также является причиной нерационального использования удобрений, которые затем смыываются грунтовыми водами, что в конечном итоге приводит к загрязнению почвы и окружающей среды. Для повышения эффективности процесса внесения твердых минеральных удобрений целесообразно осуществлять внутрипочвенное внесение или сплошное распределение штанговыми рабочими органами.

### Список использованных источников

1. Лихацевич, А. П. Использование математического моделирования для повышения достоверности оценки результатов полевого агрономического опыта / А. П. Лихацевич // Весці НАН Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2018. – Т. 56, № 3. – С. 321–334.
2. Лихацевич, А. П. Математическая модель урожая сельскохозяйственных культур / А. П. Лихацевич // Весці НАН Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2021. – Т. 59, № 3. – С. 304–318.
3. Пуховский, А. В. Метод аппроксимации и калибровки модели Митчерлиха–Спилмана–Бауле–Богуславского / А. В. Пуховский, Н. Ф. Хохлов // Матер. Всеросс. конф. «Математические модели и информационные технологии в сельскохозяйственной биологии: итоги и перспективы», Санкт-Петербург, 14–15 окт. 2010 г. – 2010. – С. 128–132.
4. Абнормальные формы функции отклика «Удобрение–продуктивность»: полевые наблюдения и модельный анализ / А. Г. Топаж, П. В. Лекомцев, А. В. Пасынков, А. В. Пуховский // Известия ТСХА. – 2015. – № 2.
5. Griffin, R. C. Selecting a functional form in production function analysis / R. C. Griffin, J. M. Montgomery, M. E. Rister // Western J. Agric. Econ. – 1987. – № 12. – P. 216–227.
6. Dhanoa, M. S. Overview and Application of the Mitscherlich Equation and its Extensions to Estimate the Soil Nitrogen Pool Fraction Associated with Crop Yield and Nitrous Oxide Emission // M. S. Dhanoa, R. Sanderson, L. M. Cardenas [et al.] // Advances in Agronomy. Elsevier. – 2022. – P. 269–295.
7. Пуховский, А. В. К проблеме моделирования действия удобрений на продуктивность полевых культур в многомерном факторном пространстве / А. В. Пуховский // Плодородие. – 2010. – № 4. – С. 2–3.
8. Yield response of potato to spatially patterned nitrogen application / R. M. Shillito, D. J. Timlin, D. Fleisher [et al.] // Agriculture, Ecosystems and Environment. – 2009. – № 129. – P. 107–116.
9. Grinsven, H. Establishing long-term nitrogen response of global cereals to assess sustainable fertilizer rates / Hans J. M. van Grinsven, Peter Ebanyat Margaret Glendinning // Nature Food. 3. – Nature Food. – Vol. 3. – February 2022. – P. 122–132.
10. Ali, M. In-Season Estimation of Wheat Response to Nitrogen Using Normalized Difference Vegetation Index / Ali M. Ali, Sherif M. Ibrahim, Emad M. M. Salem // International Journal of Plant Production. – 2022. – P. 681–689.
11. Stritzel, Joseph A. Agronomic and economic evaluation of direct and residual crop responses to various fertilizer nutrients / Joseph A. Stritzel // Unpublished Ph. D. Thesis. Ames, Iowa. Library, Iowa State University of Science and Technology. – 1958. – 247 p.
12. Kaplan, J. Unevenness of Fertilizer Distribution and determination of the Application Rate / J. Kaplan, J. Chaplin. – Proceedings of the 4-th International Conference on Precision Agriculture. – St. Paul, MN, USA. – 1998. – P. 943–952.
13. Личман, Г. И. Оценка влияния качества внесения удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур / Г. И. Личман, А. А. Личман // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2017. – № 5. – С. 16–21.
14. Стратегия механизации внесения удобрений / Л. Я. Степук, И. В. Румянцев, Н. М. Марченко, Г. И. Личман // Механизация, энергетика и автоматизация. – Известия Академии аграрных наук Республики Беларусь. – 1999. – № 1. – С. 85–88.
15. Хайлис, Г. А. Исследования сельскохозяйственной техники и обработка опытных данных / Г. А. Хайлис, Н. Г. Ковалев. – М. : Колос, 1994. – 169 с.
16. Fortune, R. A. Factors affecting fertilizer spread patterns / Dr. R. A. Fortune // The fertilizer association of Ireland. – № 35. – P. 16–25.
17. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие / В. Е. Гмурман. – 10-е изд. – М. : Высш. шк., 2004. – 479 с.
18. Семенов, В. А. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие. Стандарт третьего поколения / В. А. Семенов. – СПб. : Питер, 2013. – 192 с.

**А. Н. Юрин**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: anton-jurin@rambler.ru*

## **ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЕЛИТЕЛЯ ПОТОКА ПЛОДОВ ПРИ СОРТИРОВКЕ**

*Аннотация.* В данной работе проведено экспериментальное обоснование основных параметров работы устройства для механического разделения потока плодов при их оптической сортировке системой технического зрения. Для проведения экспериментальных исследований создана лабораторная установка системы технического зрения, состоящая из фотомодуля с видеокамерой с объективом и структурной подсветкой, а также электронного блока управления с промышленным компьютером. Для получения уравнения регрессии выбран симметричный некомпозиционный план Бокса – Бенкена. Основной задачей эксперимента является получение уравнения регрессии, которое позволит оценить влияние воздействующих факторов на точность отделения отсортированных яблок. В качестве факторов оптимизации выбраны скорость главного конвейера, угол наклона тарелки каретки и число шагов удерживания клапана соленоида.

В результате экспериментальных исследований получено уравнение регрессии зависимости для определения точности отделения отсортированных плодов. Анализ поверхностей отклика позволил установить оптимальные значения скорости главного конвейера  $v = 0,41$  м/с, угла наклона тарелки каретки  $\eta = 27$  град. и числа шагов удержания клапана соленоидом  $\tau = 93$  шага, при которых точность сортирования составляет более 95 %.

Результаты экспериментальных исследований реализованы в технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4, приемочные испытания которой показали правильность обоснованных параметров.

*Ключевые слова:* уравнение регрессии, скорость конвейера, угол наклона тарелки, соленоид, клапан, точность отделения.

**Anton N. Yuryn**

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: anton-jurin@rambler.ru*

## **JUSTIFICATION OF THE RATIONAL PARAMETERS OF THE FRUIT FLOW DIVIDER DURING SORTING**

*Abstract.* In this work, an experimental substantiation of the main parameters of the device for mechanical separation of the flow of fruits during their optical sorting by a vision system was carried out. To conduct experimental studies, a laboratory installation of a technical vision system was created, consisting of a photomodule with a video camera with a lens and structural illumination, as well as an electronic control unit with an industrial computer. To obtain the regression equation, a symmetrical non-compositional Box-Behnken design was chosen. The main objective of the experiment is to obtain a regression equation that will allow us to evaluate the influence of influencing factors on the accuracy of separating sorted apples. As optimization factors, the speed of the main conveyor, the angle of inclination of the carriage plate and the number of steps of holding the solenoid valve were chosen. As a result of experimental studies, a regression equation of dependence was obtained to determine the accuracy of separating sorted fruits. The analysis of the response surfaces made it possible to establish the optimal values for the speed of the main conveyor = 0.41 m/s, the angle of inclination of the carriage plate = 27 degrees. and the number of steps of holding the valve by the solenoid = 93 steps., at which the sorting accuracy is more than 95 %. The results of experimental studies were implemented in the technological line for sorting and packing apples LSP-4 acceptance tests and which showed the correctness of the justified parameters. The work was carried out as part of task 5 “Develop and master the production of a technological line for sorting and packing apples” of

the subprogram “Belselkhozmeckhanizatsiya-2025” of the state scientific and technical program “Innovative agro-industrial and food technologies” 2021–2025.

*Keywords:* regression equation, conveyor speed, plate inclination angle, solenoid, valve, separation accuracy.

## Введение

Обязательной операцией при товарной обработке плодов является сортирование, в процессе которого продукцию разделяют на сорта по качеству. Эта операция осуществляется, как правило, вручную при визуальном осмотре плодов рабочими, что требует большого количества ручного труда [1, 2, 3].

Использование автоматизированных сортировальных машин для оптической идентификации и разделения плодов на сорта позволяет значительно повысить качество сортирования и производительность [4–6].

Весь процесс оптической сортировки можно разделить на три основных этапа: подача плодов, состоящая из операций формирования потока и транспортирования, классификация (обнаружение признаков, распознавание структуры и принятие решений) и механическое разделение (взведение механизма, удар и движение объекта после разделения) [7–9] (рисунок 1).



Рисунок 1 – Функциональная схема системы сортировки плодов по качеству

При этом механическое разделение потока плодов является заключительной операцией, влияющей на качество выполнения всех процессов сортировки и определяющей эффективность сортировки в целом. В связи с чем определение оптимальных параметров и режимов работы устройства для разделения потока плодов, обеспечивающего качественное выполнение отделения отсортированных яблок, является важной задачей.

В то же время на процесс разделения потока оказывает влияние большое количество внешних факторов: скорость движения потока, время срабатывания механизма, размер и масса сортируемых плодов и др. В этой связи обоснование параметров и режимов работы механизма представляется возможным осуществить только экспериментальным способом.

### Лабораторная установка системы технического зрения для сортировки плодов

Для проведения экспериментальных исследований создана лабораторная установка системы технического зрения, принципиальная схема которой представлена на рисунке 2, включающая в себя: фотомодуль, состоящий из механического защищенного корпуса 1 с видеокамерой 2 и структурированной подсветкой 3, защищенный электрический шкаф 4 с вычислительным модулем 5 и сенсорной панелью управления 6 [10].

Для получения изображения яблок в фотомодуле использована видеокамера VCXU-32C фирмы Baumer с оптическим сенсором Sony Pregius CMOS площадью ПЗС-матрицы в 1/1.8". Максимальное разрешение камеры составляет 2048x1536 пкс, скорость съемки до 55 кадров/с. Видеокамера 1 (рисунок 3, а) оснащена объективом 2 (AZURE-0818M3M) с фокусным расстоянием  $f = 8$  мм и диафрагмой F1.8.

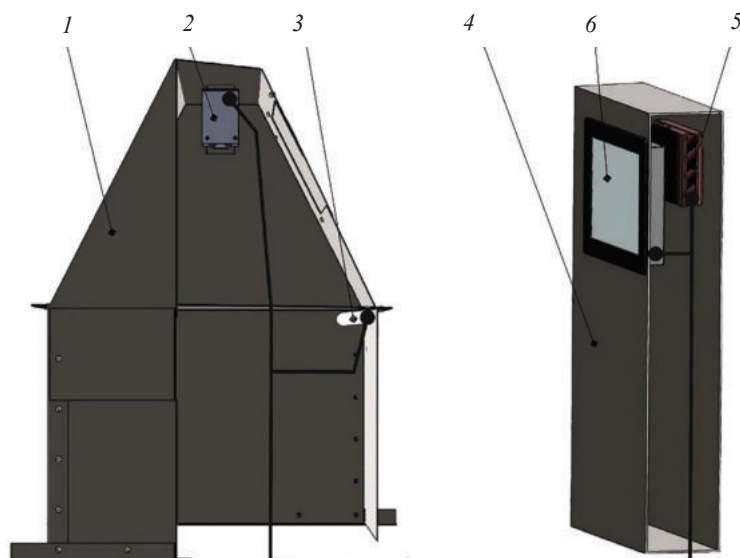


Рисунок 2 – Схема лабораторной установки системы технического зрения

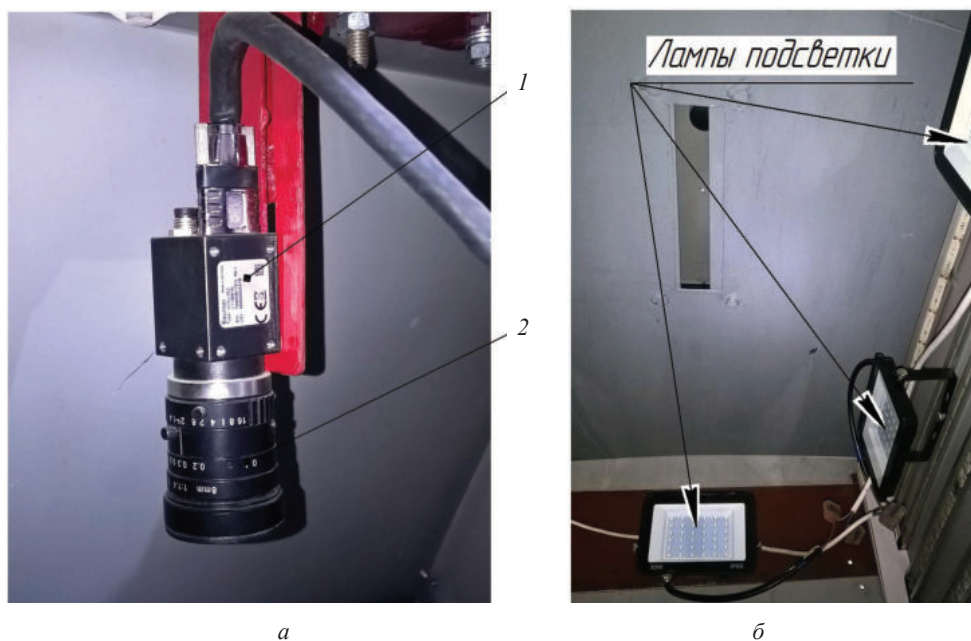


Рисунок 3 – Компоненты системы технического зрения сортировки яблок: а – видеочка VCXU-32C с объективом AZURE-0818M3M; б – лампы структурной подсветки, установленные в защищенном корпусе

В качестве вычислительного модуля использован промышленный компьютер фирмы CINCOSE серии DS-1200, оснащенный процессором Intel® Core™ i7-8700 Hexa-Core с тактовой частотой до 4 600 МГц, оперативной памятью DDR4 объемом 16 Гб, жестким диском типа SSD объемом 256 Гб под управлением операционной системы Ubuntu. Диалог с оператором осуществляется посредством сенсорного монитора CV-110H/M1001.

В качестве структурированной подсветки использованы светодиодные лампы с светодиодами типа Smd 5050 (тепло-белого свечения), суммарной мощностью 160 Вт (220 В) (рисунок 3, б). Для предотвращения мерцания подсветки блок питания электрических ламп дополнен диодным мостом с блоком конденсаторов емкостью 300 мкФ.

Фотомодуль лабораторной установки размещается на главном конвейере для транспортировки и вращения сортируемых яблок (рисунок 4).



Рисунок 4 – Фотомодуль системы технического зрения, установленный на главном конвейере:  
1 – фотомодуль СТЗ; 2 – главный конвейер

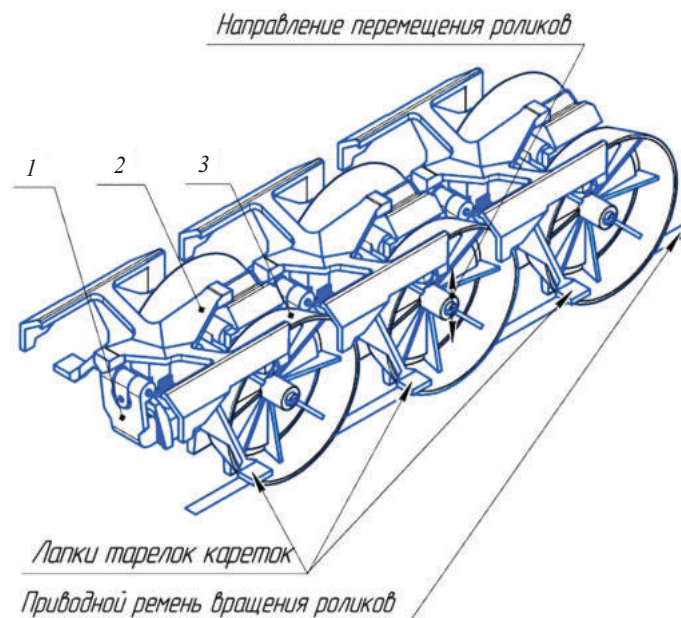


Рисунок 5 – Индивидуальные каретки для яблок главного конвейера:  
1 – корпус; 2 – тарелка; 3 – ролик

Главный конвейер представляет собой транспортер, состоящий из приводной и ведомой звездочек и втулочно-роликовой цепи, на которой закреплены 250 индивидуальных кареток для яблок (рисунки 5, 6), установленных друг за другом с шагом 100 мм.

Для фотографирования яблок со всех сторон движущимся по главному конвейеру плодам придавалось вращение посредством парных роликов 3 индивидуальных кареток (рисунок 5), установленных на одной оси, которые при прохождении под фотомодулем набегают на приводной ремень, придающий им вращение в направлении противоположном движению конвейера. Ролики, перемещаясь по вертикали в пазах корпуса 1, поднимают яблоки с тарелок 2, заставляя их вращаться.

Отделение отсортированных яблок осуществляется посредством механизма разделения потока, состоящего из быстродействующего соленоида 1, клапана 2 и пирамиды 3 (рисунок 6).



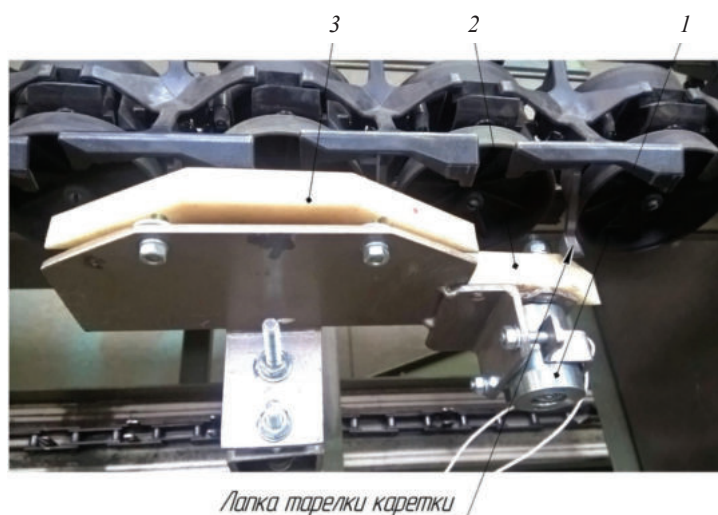


Рисунок 6 – Механизм разделения потока плодов: 1– соленоид делителя потока яблок; 2 – клапан; 3 – пирамида

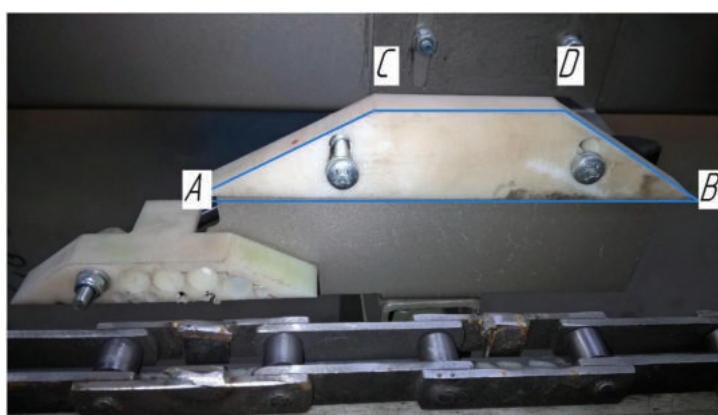


Рисунок 7 – Траектории движения лапки тарелки каретки СТЗ: *AB* – без опрокидывания тарелок и экстракции яблока; *ACDB* – с наклоном тарелки каретки и удалением яблока

Во время работы цепь главного конвейера с индивидуальными каретками перемещает яблоки под фотомодулем, где видеокамера фотографирует плоды и передает изображение в электронный блок управления, который определяет качество яблок и присваивает им соответствующий сорт. После прохождения фотомодуля электронный блок управления посредством энкодера начинает отсчет расстояния, пройденного каждой кареткой с яблоком.

Далее, если яблоку присвоен сорт, соответствующий запрограммированному, то при подходе каретки к механизму разделения потока блок управления подает напряжение на соленоид, который поворачивает клапан, заставляя лапки тарелки каретки двигаться по траектории *ACDB* между клапаном и нижней частью пирамиды (рисунки 6, 7).

При этом тарелки, закрепленные шарнирно, наклоняются, поворачиваясь на оси относительно корпуса каретки и направления движения цепи главного конвейера. В результате чего яблоко скатывается с конвейера. Угол наклона тарелки регулируется высотой установки пирамиды, перемещаемой в пазах крепежных винтов.

Если же яблоку присвоен сорт, не относящийся к выбранному сорту, то электронный блок управления не дает управляющего сигнала на соленоид, и лапка тарелки каретки движется по траектории *AB*, между клапаном и нижней частью пирамиды. В таком случае каретка с блоком следует далее по главному конвейеру.

Очевидно, что наибольшее влияние на работу данного механизма оказывают такие факторы как: скорость главного конвейера, угол наклона тарелки каретки при экстракции отсортирован-

ных яблок и период времени, в течение которого клапан механизма разделения потока плодов будет поднят в верхнее положение для перенаправления движения лапки тарелки по траектории  $ACDB$ .

В то же время момент срабатывания клапана соленоида определяется количеством шагов ротора энкодера, установленного соосно с ведомой звездочкой и измеряющего путь цепи главного конвейера от фотомодуля до механизма разделения потока яблок.

Основные технические характеристики лабораторной установки системы технического зрения представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Основные технические характеристики лабораторной установки системы технического зрения**

Наименование показателя	Значение показателя
Тип машины	стационарная
Количество анализируемых рабочих потоков, шт.	1
Скорость движения главного конвейера, м/с	0,2...0,8
Рабочая длина зоны распознавания, м	0,62
Частота вращения яблок в зоне оптического модуля, Гц	1...3

### Методика планирования эксперимента

В целях сокращения затрат труда, времени и средств на выявление оптимальных режимов работы системы технического зрения применены методы физического моделирования и математической теории планирования эксперимента.

Основной задачей планирования эксперимента является получение уравнения регрессии, которое позволит оценить влияние воздействующих факторов  $x_i$  на точность отделения отсортированных яблок [11–14]:

$$y = b_0 + \sum_i^k b_i x_i + \sum_{i>j}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=j}^k b_{ij} x_i^2,$$

где  $b_0$  – свободный член, равный выходу при  $x_i = 0$ ;  $b_i$  – коэффициенты регрессии соответствующих факторов, указывающие влияние того или иного фактора на изучаемый объект;  $b_{ij}$  – коэффициент регрессии факторов двойного взаимодействия;  $x_i, x_j$  – кодовое обозначение факторов.

Полнота отделения яблок ( $y_1$ ) на выходе в нашем случае является параметром оптимизации:  $y_{1\max} = 1$  – при 100-процентном отделении яблок соответствующего сорта.

Точность отделения яблок будет наилучшей в том случае, когда все яблоки соответствующего сорта будут отделены от общего потока плодов и сброшены на выходной конвейер, т. е.  $y_1 = 1$ .

Для устранения корреляции между коэффициентами регрессии в оценке расчетных значений функции отклика используем кодированные значения факторов:

$$x_i = \frac{\overline{x_i} - \overline{x_{i0}}}{\varepsilon_i}, \quad (1)$$

где  $\overline{x_i}$  – натуральное значение  $i$ -го фактора;  $\overline{x_{i0}}$  – натуральное значение фактора на нулевом уровне;  $\varepsilon_i$  – значение интервала варьирования фактора:

$$\varepsilon_i = \frac{\overline{x_i^B} - \overline{x_i^H}}{2}, \quad (2)$$

где  $\overline{x_i^B}$ ,  $\overline{x_i^H}$  – соответственно, верхняя и нижняя границы изменения величины  $\overline{x_i}$ .

Точность отделения яблок определяли по следующей зависимости:

$$T = 100 \% - \left( \sum_1^n \frac{m_i}{m_0} \cdot 100 \% \right),$$

где  $n$  – число фракций;  $m_i$  – количество яблок, выделенных в соответствующий сорт;  $m_0$  – общее количество яблок всех фракций.

Для получения уравнения регрессии выбран симметричный некомпозиционный план Бокса – Бенкена [15] как способ построения планов второго порядка при условии, что каждая переменная может изменяться не более чем на трех уровнях ( $-1, 0, +1$ ) (таблица 2).

Большое количество нулей в матрице планирования упрощает вычисление коэффициентов уравнения регрессии при ручной обработке результатов. Перед проведением эксперимента выбираем базовые уровни и интервалы варьирования факторов, количество параллельных опытов в каждой точке плана и порядок его реализации. В качестве факторов оптимизации выбираем: скорость главного конвейера  $x_1$ , угол наклона тарелки каретки  $x_2$ , число шагов удерживания клапана соленоида  $x_3$  (таблица 3).

Таблица 2 – Симметричный не композиционный план Бокса – Бенкена

Число факторов, $k$	Матрица планирования			План для факторов, имеющих уровни $\pm 1$	Число опытов		
	$x_1$	$x_2$	$x_3$		В выборке из плана $3^k$	На нулевом уровне $N_0$	Всего $N$
3	$\pm 1$	$\pm 1$	0	$2^2$	24	3	15
	0	0	$\pm 1$				
	$\pm 1$	0	0				
	0	$\pm 1$	$\pm 1$				
	$\pm 1$	0	$\pm 1$				
	0	$\pm 1$	0				
	0	0	0				

Уровни варьирования факторов были определены из следующих соображений. Нижняя граница скорости главного конвейера выбрана, исходя из необходимой производительности машины для сортировки, для достижения которой необходима скорость не менее 0,4 м/с. Верхняя граница определялась экспериментально, в результате чего была принята скорость 0,8 м/с, так как при увеличении скорости происходит механическое повреждение яблок при сходе их с конвейера.

Таблица 3 – Уровни варьирования факторов

Факторы	Скорость главного конвейера, м/с, $x_1$	Угол наклона тарелки каретки, град., $x_2$	Число шагов удерживания клапана соленоида, шаг, $x_3$
Основной уровень $x_{i0}$	0,6	30	95
Интервалы варьирования $\Delta x_i$	0,2	5	10
Верхний уровень $x_i = +1$	0,8	35	105
Нижний уровень $x_i = -1$	0,4	25	85

Нижняя и верхняя границы варьирования угла наклона тарелки определены экспериментально в ходе проведения лабораторных исследований, шаг изменения факторов принят равным 5 град. Верхний уровень – 35 град., нижний – 25 град.

Интервал варьирования числа шагов удерживания клапана соленоида выбран в результате поисковых экспериментальных исследований. Нижняя граница 85 шагов, верхняя – 105 шагов.

### Проведение эксперимента и обработка результатов

Факторное пространство описывается уравнением регрессии в виде полинома второй степени, который имеет следующий вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3.$$

Выбранный план Бокса – Бенкена имеет тип  $3^k$ . В данном плане выбранные переменные варьируются на трех уровнях:  $+1, 0, -1$  (таблица 4).

Таблица 4 – Матрица плана Бокса – Бенкена

Номер опыта	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_1X_2$	$X_1X_3$	$X_2X_3$	$X_1^2$	$X_2^2$	$X_3^2$
1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0
2	1	1	-1	0	-1	0	0	1	1	0
3	1	-1	1	0	-1	0	0	1	1	0
4	1	-1	-1	0	1	0	0	1	1	0
5	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1
6	1	1	0	-1	0	-1	0	1	0	1
7	1	-1	0	1	0	-1	0	1	0	1
8	1	-1	0	-1	0	1	0	1	0	1
9	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1
10	1	0	1	-1	0	0	-1	0	1	1
11	1	0	-1	1	0	0	-1	0	1	1
12	1	0	-1	-1	0	0	1	0	1	1
13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Однородность дисперсий определяли с помощью G-критерия Кохрена:

$$G_3 = \frac{\max(S_j^2)}{\sum_{j=1}^N S_j^2}, \quad j = 1, \dots, N,$$

где  $\max S_j^2$  – максимальная выборочная дисперсия в  $N$  выборках;  $S_j^2$  – выборочная дисперсия в  $j$ -м опыте;  $N$  – число опытов (число выборок);  $j$  – текущий номер опыта.

Выборочную дисперсию в каждой выборке определяли по формуле:

$$S_j^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{ji} - \bar{y}_j)^2}{n-1},$$

где  $y_{ji}$  – значение параметра оптимизации в  $j$ -м опыте и  $i$ -м дубле;  $i$  – текущий номер дубля,  $1, \dots, n$ ;  $n$  – число дублей каждого из  $N$  опытов;  $\bar{y}_j$  – выборочное среднее в  $j$ -м опыте.

Среднее арифметическое значение параметра оптимизации для каждой строки:

$$\bar{y}_j = \frac{\sum_{i=1}^n y_{ji}}{n}, \quad j = 1, \dots, N.$$

Значения коэффициентов уравнения второго порядка рассчитывали по формулам:

$$b_0 = \frac{1}{n_0} \sum_{n=1}^{n_0} y_{0n},$$

$$b_i = A \sum_{n=1}^N X_{in} y_n,$$

$$b_{ij} = D \sum_{n=1}^{n_0} X_{in} X_{jn} y_n,$$

$$b_{ii} = B \sum X_{in}^2 y_n + C \sum_{i=1}^k \sum_{n=1}^N X_{in}^2 y_n - \frac{\sum_{n=1}^{n_0} y_{0n}}{N_0 p},$$

где  $N_0$  – число опытов на нулевом уровне (в данном случае  $N_0 = 3$ );  $y_{0n}$  – значение параметра оптимизации трех опытов на нулевом уровне факторов;  $y_n$  – значение параметра оптимизации в  $n$ -й строке матрицы;  $X_i$  – кодированные уровни факторов.

Значимость коэффициентов регрессии определяли по следующей формуле:

$$\Delta b_i = \pm t \cdot S_{bi},$$

где  $t$  – табличные значения критерия Стьюдента при заданном уровне доверия  $\alpha$  и степени свободы  $f = N(n - 1)$ ;  $S_{bi}$  – ошибка определения коэффициентов  $b_i$ , определяемая по формуле:

$$S_{bi} = \sqrt{S_{bi}^2},$$

где  $S_{bi}^2$  – дисперсия при определении коэффициентов.

$$S_{b0}^2 = \frac{1}{N_0} S_{y0}^2,$$

$$S_{bi}^2 = A S_{y0}^2,$$

$$S_{bij}^2 = D S_{y0}^2,$$

$$S_{bii}^2 = \left( B_1 + \frac{1}{p^2 N_0} \right) S_{y0}^2,$$

где  $S_{y0}^2$  – среднеквадратическая дисперсия трех опытов на нулевом уровне (дисперсия воспроизводимости эксперимента);  $B_1$  – константа, зависящая от числа факторов.

$$S_{y0}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{n0} - \bar{y}_0)^2}{N_0 - 1},$$

где  $\bar{y}_0$  – среднее значение параметра оптимизации трех опытов на нулевом уровне факторов.

В результате получено уравнение регрессии второго порядка, в котором все коэффициенты регрессии значимы:

$$y = 96,47 - 4,36x_1 + 1,77x_2 + 2,43x_3 - 1,87x_1^2 - 1,16x_2^2 - 2,01x_3^2 + 2,69x_1x_2 + 2,23x_1x_3 - 1,03x_2x_3. \quad (3)$$

Анализ полученного уравнения показывает, что точность отделения яблок зависит от скорости движения главного конвейера, угла наклона тарелки каретки и числа шагов энкодера удерживания клапана соленоида.

Адекватность уравнения регрессии по плану Бокса – Бенкена проводили путем анализа расчетной среднеквадратичной дисперсии без проверки математической модели на адекватность [16].

Расчетное среднеквадратичное отклонение определяется по формуле:

$$S_{\Delta U} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^k (\bar{y}_j - y_j^p)^2}{k - 1}},$$

где  $(\bar{y}_j - y_j^k)$  – разность между средним опытным и расчетным значениями параметра оптимизации;  $k$  – число опытов ( $k = N - N_0 - 1$ ).

Расчетное значение параметра  $y$  в  $j$ -м опыте рассчитывается по формуле:

$$y_j^p = b_0 + b_1 X_{1n} + b_2 X_{2n} + b_3 X_{3n} + b_{11} X_{1n}^2 + b_{22} X_{2n}^2 + b_{33} X_{3n}^2 + b_{12} X_{1n} X_{2n} + b_{13} X_{1n} X_{3n} + b_{23} X_{2n} X_{3n}.$$



Результаты расчетов приведены в таблице 5. Согласно полученным результатам очевидно, что уравнение регрессии второго порядка адекватно, так как среднеквадратичное отклонение на нулевом уровне больше расчетного:

$$|S_{y0}| > |S_{\Delta U}|, \quad 0,980 > 0,881.$$

Для получения функции отклика в зависимости от натуральных значений факторов декодируем уравнение регрессии (3). Для этого найдем натуральные значения факторов, используя формулы (1) и (2).

Фактор скорости главного конвейера:

$$x_1 = \frac{v - 0,60}{0,20}.$$

Фактор угла наклона тарелки каретки:

$$x_2 = \frac{\eta - 30}{5}.$$

Фактор числа шагов энкодера удерживания клапана соленоида:

$$x_3 = \frac{\tau - 5}{1}.$$

Подставив в уравнение (3) натуральные значения факторов  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ , получим функцию отклика в натуральных показателях:

$$\begin{aligned} T = & 16,56 - 181,4v - 0,432\eta + 2,764\tau - 46,75v^2 - \\ & - 0,04641\eta^2 - 0,02\tau^2 + 2,69v\eta + 1,1v\tau + 0,02\eta\tau. \end{aligned} \quad (4)$$

При анализе уравнения регрессии второго порядка 4 установлено, что все выбранные факторы влияют на точность отделения яблок. Адекватность уравнения в кодированном виде при уровне значимости 0,05 % говорит о том, что погрешность вычисления при реализации полученной модели на практике в установленном диапазоне варьирования факторов не превысит 5 %.

### Анализ математической модели

На рисунке 8, *а, б, в* представлены поверхности отклика, характеризующие зависимость точности отделения отсортированных яблок от значимых факторов.

Анализ двумерных сечений показывает, что центры эксперимента находятся в исследуемой зоне и расчетные данные согласуются с экспериментальными, что позволяет установить оптимальные параметры для различных сочетаний факторов.

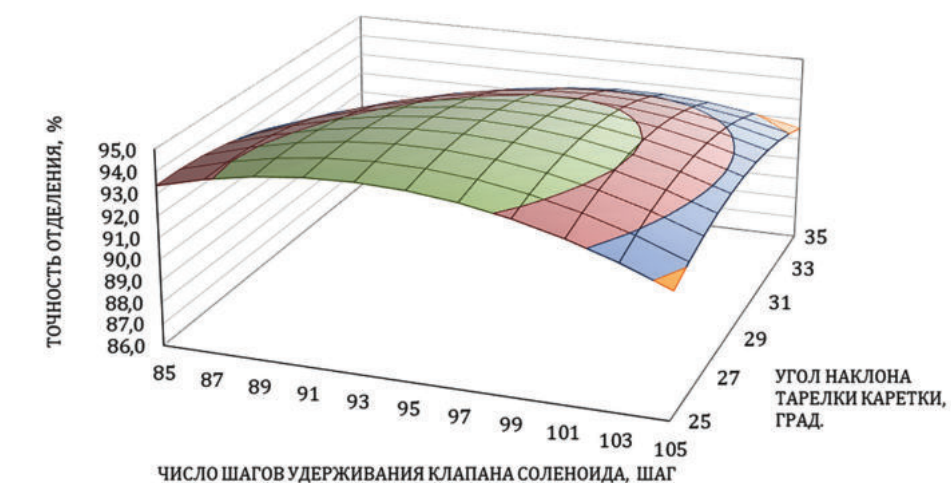
Согласно проведенному анализу рациональными параметрами качества сортировки в заданном интервале точности сортирования яблок являются следующие значения:  $v = 0,41$  м/с,  $\eta = 27$  град.,  $\tau = 93$  шаг. При этом точность сортирования составляет 95,1 %.

### Реализация результатов исследований

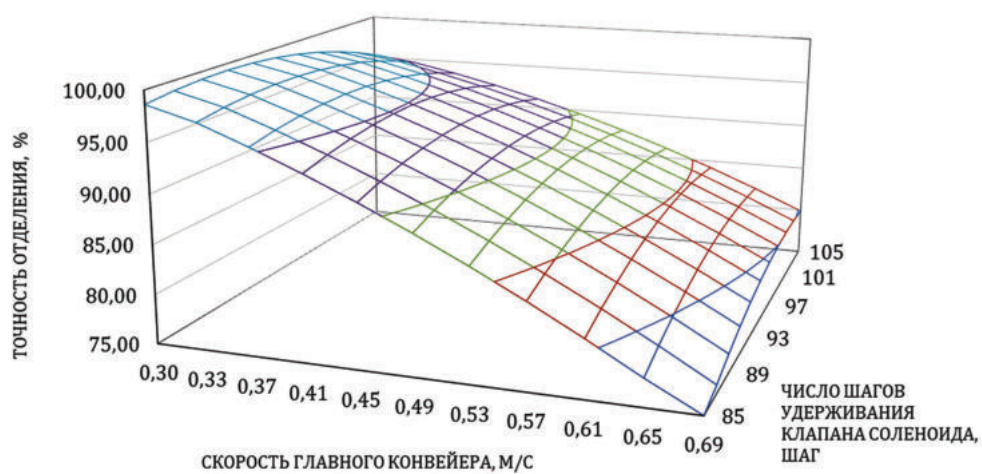
Результаты исследований использованы при создании системы технического зрения технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4, разработанной РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» [6–9].

Приемочные испытания показали, что технологическая линия соответствует требованиям технического задания и обеспечивает качественное выполнение технологического процесса сортировки яблок по размеру и наличию дефектов от механических повреждений, болезней и вредителей [17].

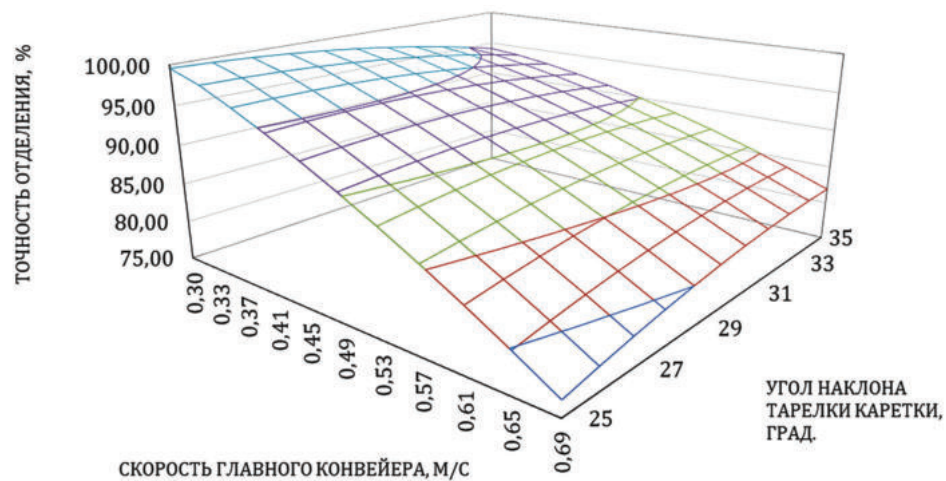
При этом точность отделения отсортированных плодов составляет 95,4 %, что подтверждает правильность экспериментальных исследований.



а



б



в

Рисунок 8 – Поверхности отклика: а –  $T = f(\eta; \tau)$ ; б –  $T = f(v; \eta)$ ; в –  $T = f(v; \tau)$

Таблица 5 – Результаты факторного эксперимента

Номер точки плана	Матрица плана Бокса – Бенкена ( $k = 3$ )											Результаты экспериментальных исследований					Результаты расчета для проверки адекватности модели	
	$x_0$	$x_1$ (v)	$x_2$ (n)	$x_3$ (r)	$x_1^2$	$x_2^2$	$x_3^2$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_{cp}$	$S_f^2$	$\hat{y}_{cp}$	$(y_{cp} - \hat{y}_{cp})^2$	
1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	93,6	96,5	92,6	94,3	4,11	93,5	0,512	
2	1	1	-1	0	1	1	0	-1	0	0	85,8	84,7	83,0	84,5	2,01	84,6	0,015	
3	1	-1	1	0	1	1	0	-1	0	0	96,0	98,5	96,5	97,0	1,71	96,9	0,015	
4	1	-1	-1	0	1	1	0	1	0	0	97,5	98,5	98,0	98,0	0,25	98,7	0,512	
5	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	91,7	92,6	90,7	91,7	0,88	92,9	1,550	
6	1	1	0	-1	1	0	1	0	-1	0	84,5	87,1	81,1	84,2	9,23	83,6	0,425	
7	1	-1	0	1	1	0	1	0	-1	0	96,0	98,5	95,0	96,5	3,25	97,2	0,425	
8	1	-1	0	-1	1	0	1	0	1	0	97,5	98,5	98,0	98,0	0,25	96,8	1,550	
9	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	98,0	96,5	96,5	97,0	0,74	96,5	0,280	
10	1	0	1	-1	0	1	1	0	0	-1	91,7	94,6	90,7	92,3	4,03	93,7	1,870	
11	1	0	-1	1	0	1	1	0	0	-1	97,5	97,0	94,6	96,4	2,46	95,0	1,870	
12	1	0	-1	-1	0	1	1	0	0	1	87,8	86,7	88,2	87,5	0,61	88,1	0,280	
13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95,6	96,5	94,6	95,6	0,96	96,5	0,846	
14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	94,1	98,5	96,5	96,4	4,90	96,5	0,012	
15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	97,5	98,5	96,5	97,5	1,00	96,5	1,061	
$b_j$	96,47	-4,36	1,77	2,43	-1,87	-1,16	-2,01	2,69	2,23	-1,03	Проверка однородности дисперсий			Проверка адекватности модели				
Проверка значимости коэффициентов																		
$S_{y0}^2$	1,037	$S^2\{b_i\}$	0,3199	0,1200	0,2599	0,2599	0,2599	0,2399	0,2399	0,2399	$\Sigma S_f^2$			$\Sigma(y_{cp} - \hat{y}_{cp})^2$			9,304	
$p$	0,95	$S\{b_i\}$	0,566	0,346	0,346	0,510	0,510	0,490	0,490	0,490	$S_{jmax}^2$			$k = N - N_0 - 1$			13	
$f$	30	$t_i$	170,56	12,59	5,12	3,67	2,27	3,94	4,56	2,10	$G$			$k - 1$			12	
$t_{кр}$	2,042	$t_i - t_{кр}$	168,52	10,55	3,08	1,63	0,23	1,90	3,44	2,52	$n - 1$			$S_{AU}$			0,881	
$\Delta b_j$			1,155	0,707	0,707	1,041	1,041	1,000	1,000	1,000	$N$			$S_{y0}^2$			0,960	
Вывод:			зн	зн	зн	зн	зн	зн	зн	зн	$G_{кр}$			$S_{y0}$			0,980	
			зн	зн	зн	зн	зн	зн	зн	зн	$G - G_{кр}$			$S_{y0} - S_{AU}$			0,099	
Уравнение регрессии	$y = 96,47 - 4,36x_1 + 1,77x_2 + 2,43x_3 - 1,87x_1^2 - 1,16x_2^2 - 2,01x_3^2 + 2,69x_1x_2 + 2,23x_1x_3 - 1,03x_2x_3.$										Вывод:			Дисп. однор			Вывод: Ур. адекв.	

## Выводы

В результате экспериментальных исследований получено уравнение регрессии зависимости для определения точности отделения отсортированных плодов.

Анализ поверхностей отклика позволил установить оптимальные значения скорости главного конвейера  $v = 0,41 \text{ м/с}$ , угла наклона тарелки каретки  $\eta = 27$  град. и числа шагов удержания клапана соленоидом  $\tau = 93$  шага, при которых точность сортирования составляет более 95 %.

Результаты экспериментальных исследований реализованы в технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4, приемочные испытания которой показали правильность обоснованных параметров.

*Работа выполнялась в рамках задания 5 «Разработать и освоить производство технологической линии сортировки и фасовки яблок» подпрограммы «Белсельхозмеханизация – 2025» государственной научно-технической программы «Инновационные агропромышленные и продовольственные технологии» 2021–2025 гг.*

## Список использованных источников

1. Смирнов, И. Г. Интеллектуальные технологии и роботизированные машины для возделывания садовых культур / И. Г. Смирнов, Д. О. Хорт, А. И. Кутырев // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2021. – Т. 15, № 4. – С. 35–41.
2. Роботизированный комплекс для сортировки яблок / П. В. Балабанов [и др.] // Цифровизация агропромышленного комплекса : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 21–23 окт. 2020 г. / Тамбов. гос. техн. ун-т. – Тамбов, 2020. – Т. 1. – С. 44–47.
3. Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision / C. Szegedy [et al.] // Cornell University Library. – URL: <https://arxiv.org/pdf/1512.00567.pdf> (date of access: 15.05.2018).
4. ImageNet // Stanford Vision Lab, Stanford University, Princeton University. – URL: <http://www.image-net.org> (date of access: 05.04.2018).
5. Yuzhen, Lu. Development of a multispectral Structured Illumination Reflectance Imaging (SIRI) system and its application to bruise detection of apples [Разработка мультиспектральной системы визуализации отраженного изображения (SIRI) и ее применение для обнаружения повреждений яблок. (США)] / Lu Yuzhen, Lu Renfu // Transactions of the ASABE / Amer. soc. of agriculture and biol. engineering. -St. Joseph (Mich.), 2017. – Vol. 60, № 4. – P. 1379–1389.
6. Казакевич, П. П. Система технического зрения распознавания дефектов яблок: обоснование, разработка, испытание / П. П. Казакевич, А. Н. Юрин, Г. А. Прокопович // Весці НАН Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2021. – Т. 59, № 4. – С. 488–500. – DOI: 10.29235/1817-7204-2021-59-4-488-500.
7. Юрин, А. Н. Инновационные технологические процессы и технические комплексы для интенсивного садоводства Беларуси / А. Н. Юрин. – Минск : Беларус. навука, 2022. – 208 с.
8. Казакевич, П. П. Обоснование алгоритма сортирования плодов системой технического зрения / П. П. Казакевич, Д. И. Комлач, А. Н. Юрин // Наука в центральной России. – 2023. – № 2 (62) – С. 27–37. – DOI: 10.35887/2305-2538-2023-2-27-37.
9. К разработке машин на основе искусственного интеллекта и систем технического зрения / П. П. Казакевич, Д. И. Комлач, А. Н. Юрин, А. С. Воробей // Агроэкоинженерия / ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. – 2023. – № 1 (114). – С. 14–31. – DOI: 10.24412/2713-2641-2023-1114-14-31.
10. Применение искусственной нейронной сети для идентификации качества яблок при сортировке / П. П. Казакевич, А. Н. Юрин, В. В. Микульский, Л. А. Ходасевич // Агропанорама: науч.-техн. журнал. – Белорус. гос. аграр. техн. ун-т. ; редкол.: Н. Н. Романюк [и др.]. – Минск, 2023. – № 3 (157). – С. 31–38.
11. Кондрашев, А. П. Основы физического эксперимента и математическая обработка результатов измерений / А. П. Кондрашев, Е. В. Шестопапов. – М. : Агропромиздат, 1977. – 195 с.
12. Вентциль, Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентциль. – М. : Наука, 1969. – 567 с.
13. Коваленко, И. Н. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие для вузов / И. Н. Коваленко, А. А. Филиппова. – М. : Высш. шк., 1973. – 368 с.
14. Мельников, В. С. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / В. С. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рошин. – Ленинград : Колос, 1972. – 199 с.
15. Касандрова, О. Н. Обработка результатов наблюдений / О. Н. Касандрова, В. В. Лебедев. – М. : Наука, 1970. – 103 с.
16. Ашмарин, И. П. Быстрые методы статистической обработки и планирования экспериментов / И. П. Ашмарин, Н. Н. Васильев, В. А. Амбросов. – Ленинград : Университет, 1971. – 75 с.
17. Протокол приемочных испытаний технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4: № 004 1/3-2022 ; введ. 25.02.2022. – п. Привольный : ГУ «Белорусская МИС», 2022. – 99 с.

**А. Н. Юрин**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: anton-jurin@rambler.ru*

## **РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ОПТИЧЕСКОЙ СОРТИРОВКИ ПЛОДОВ (APPLECTL)**

*Аннотация.* В данной статье представлено обоснование программы управления системой технического зрения для оптической сортировки плодов технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 и приведено описание основных ее составляющих.

*Ключевые слова:* интерфейс, пользователь, изображение, яблоко, сорт, заказ, параметры, статистика, лотки, инженерия, точка сброса, функция.

**A. N. Yurin**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: anton-jurin@rambler.ru*

## **DEVELOPMENT OF A TECHNICAL VISION SYSTEM CONTROL PROGRAM FOR OPTICAL FRUIT SORTING (APPLECTL)**

*Annotation.* This article presents the rationale for the technical vision system control program for optical sorting of fruits of the technological line for sorting and packing apples LSP-4 and provides a description of its main components.

*Keywords:* interface, user, image, apple, grade, order, parameters, statistics, trays, engineering, reset point, function.

### **Введение**

В настоящее время контроль качества плодов – недостаточно механизированный процесс и на его выполнение приходится до 70 % всех трудозатрат товарной их обработки [1–4].

В процессе сортировки учитывается размер плодов, наличие повреждений от болезней, вредителей и механического воздействия.

Из всех известных средств автоматизации, предназначенных для такой цели, наиболее качественно этот процесс может быть выполнен только оптическими средствами контроля на основе системы технического зрения (в дальнейшем – СТЗ) [5–6]. Немаловажной частью СТЗ является ее электронный блок управления (ЭБУ), управление которым осуществляется посредством программного обеспечения [7].

Создание программного обеспечения, позволяющего осуществлять эффективное управление СТЗ, является важной задачей [8].

### **Основная часть**

Программный продукт предназначен для управления системой технического зрения для сортировки плодов по диаметру и наличию дефектов от механических повреждений, вредителей и болезней на три товарных сорта.

Область применения: сельскохозяйственные предприятия любых форм собственности, специализирующиеся на производстве плодовой продукции.



### Конструкция и рабочий процесс СТЗ

СТЗ представляет собой сложное распределенное техническое устройство, состоящее из двух основных элементов:

- электрического блока управления с вычислительным модулем и сенсорным монитором (рисунок 1);
- оптический модуль, с видеокамерой и подсветкой (рисунки 2; 3, а, б).

В основу работы системы классификации СТЗ положен принцип визуального анализа данных. При прохождении через оптический модуль плоды фотографируются, изображение передается в вычислительный модуль, где программное обеспечение классифицирует поступающие плоды согласно заданным параметрам.

СТЗ обеспечивает получение изображений движущихся яблок, распознавание и обработку полученных изображений, формирование изображений в образы с последующей классификацией яблок по сортам, выдачу управляющего сигнала сбрасывателям, осуществляющим сброс яблок с индивидуальных кареток конвейера на выходные конвейеры соответствующих сортов.

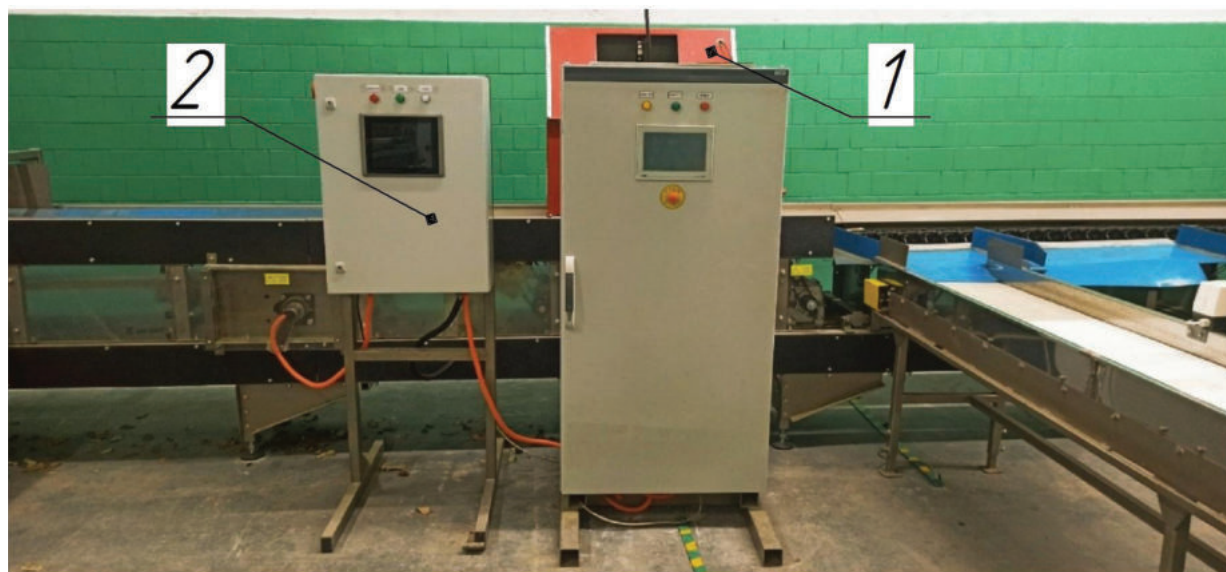


Рисунок 1 – Система технического зрения:  
1 – оптический модуль с видеокамерой и структурной подсветкой; 2 – электронный блок управления



Рисунок 2 – Оптический модуль СТЗ

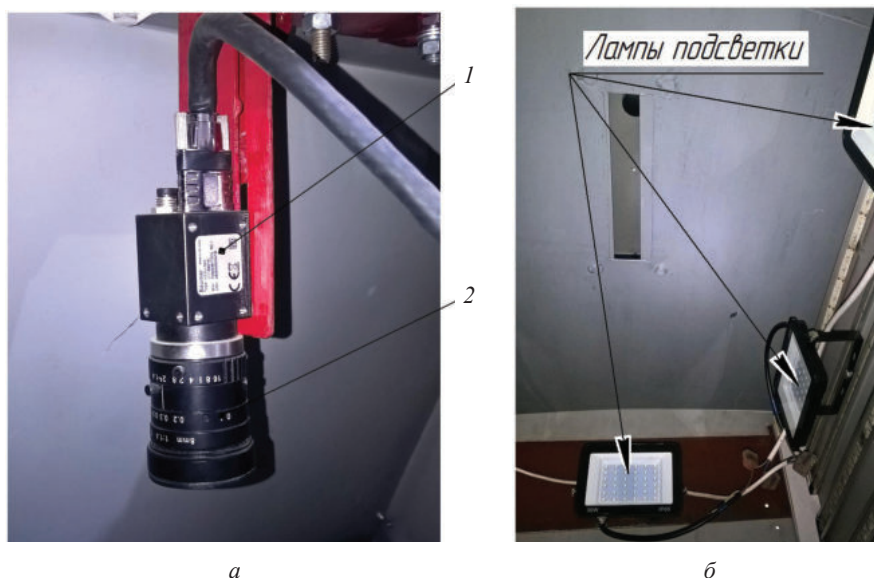


Рисунок 3 – Компоненты оптического модуля СТЗ: *а* – видеокамера VCXU-32C (поз. 1) с объективом AZURE-0818M3M (поз. 2); *б* – лампы структурной подсветки

В качестве вычислительного модуля использован промышленный компьютер DS-1200 с процессором Intel® Core™ i7-8700 Hexa-Core, оперативной памятью DDR4 объемом 16 ГБ, жестким диском объемом 256 ГБ. Диалог с оператором осуществляется посредством сенсорного монитора CV-110H/M1001.

В качестве структурированной подсветки использованы светодиодные лампы со светодиодами типа Smd 5050 (тепло-белого свечения) суммарной мощностью 160 Вт (220 V) (рисунок 3, б).

Программный продукт обеспечивает: управление видеокамерой системы технического зрения (рисунок 3, а), осуществляющей фотографирование яблок; обнаружение их признаков; распознавание дефектов от механических повреждений, болезней и вредителей; присвоение сорта и управление исполнительными механизмами разделения потока плодов на сорта.

Общие сведения:

Программное обеспечение системы технического зрения (СТЗ) написано на 2 языках программирования Python и C++, работает в операционной системе Ubuntu 16.04, использующей ядро Linux и содержит следующие элементы:

- подпрограмма сегментации и трекинга;
- подпрограмма распознавания дефектов яблок на изображениях с помощью ИНС;
- подпрограмма классификации сортов яблок по комплексным параметрам;
- подпрограмма работы с базой данных (Base);
- подпрограмма настройки параметров видеокамеры (Camera);
- подпрограмма управления данными о заказах (Ctl);
- подпрограмма управления механизмами (Transporter);
- подпрограмма интерфейса пользователя (UI);
- подпрограмма «верхнего» уровня.

#### **Функциональные назначения подпрограмм**

После захвата изображения камерой оно поступает в подпрограмму сегментации (рисунок 4), которая генерирует прямоугольники, ограничивающие яблоки. Прямоугольники поступают на подпрограмму трекинга, которая сопоставляет объекты текущего кадра с объектами предыдущего кадра. Далее изображения идентифицированных яблок классифицируются. Программа собирает информацию об обнаруженных дефектах и размерах яблок до тех пор, пока каждый плод не дойдет до конца анализируемого края (ROI). После того, как яблоко доходит до конца края на основе собранной информации ему присваивается номер одного из четырех классов: 1 – высший

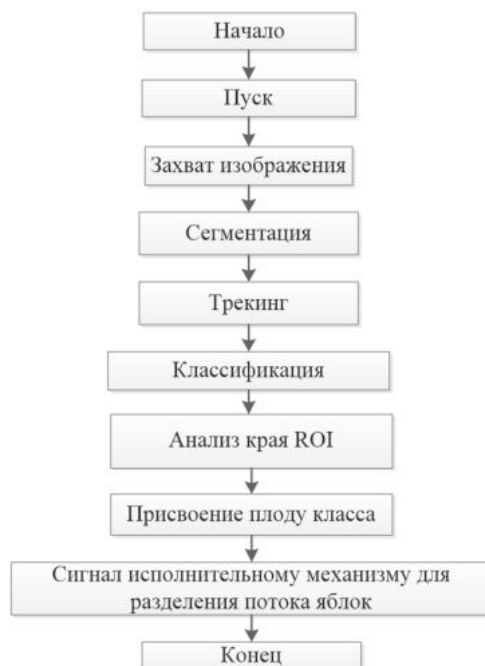


Рисунок 4 – Алгоритм функционирования программы управления системой технического зрения для оптической сортировки плодов (AppleCtl)

сорт, 2 – первый сорт, 3 – второй сорт, 4 – бессортное. В зависимости от класса программа генерирует сигнал исполнительному механизму для механического разделения потока яблок на сорта по качеству.

#### Подпрограмма сегментации трекинга

Программа сегментации предназначена для разделения цифрового изображения яблок, движущихся по конвейеру (рисунок 5), от изображения транспортирующих кареток конвейера.

Алгоритм работы программы основан на принципе: конвейер черный, а все яблоки имеют красные, желтые или зеленые оттенки (или их комбинации), благодаря чему они выделяются на фоне конвейера.

Для анализа цвета изображение переводится в формат RGB, для сегментации зеленых, желтых или красных оттенков цветов на цифровых изображениях яблок.

Для получения полной визуальной информации о качестве яблок необходимо фотографирование их со всех сторон, что обеспечивается механическим вращением плодов на конвейере в поле зрения видеокамеры фотомодуля.

Для обеспечения слежения за перемещающимися и вращающимися плодами используется программа трекинга.

На вход алгоритма программы трекинга поступает набор координат прямоугольников, ограничивающих яблоки. Алгоритм трекинга учитывает информацию, сгенерированную им для предыдущего кадра видеопоследовательности (если он не первый), и выдает каждому ограничивающему прямоугольнику текущего кадра уникальный номер (назначает индивидуальный



Рисунок 5 – Моментальный кадр движущихся по конвейеру яблок

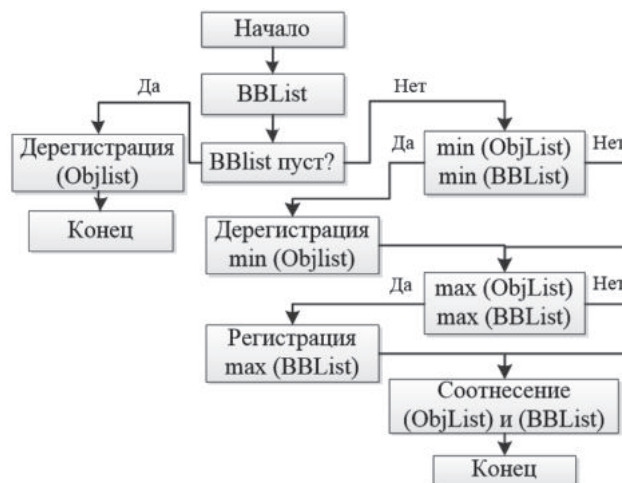


Рисунок 6 – Блок-схема предложенного алгоритма трекинга объектов

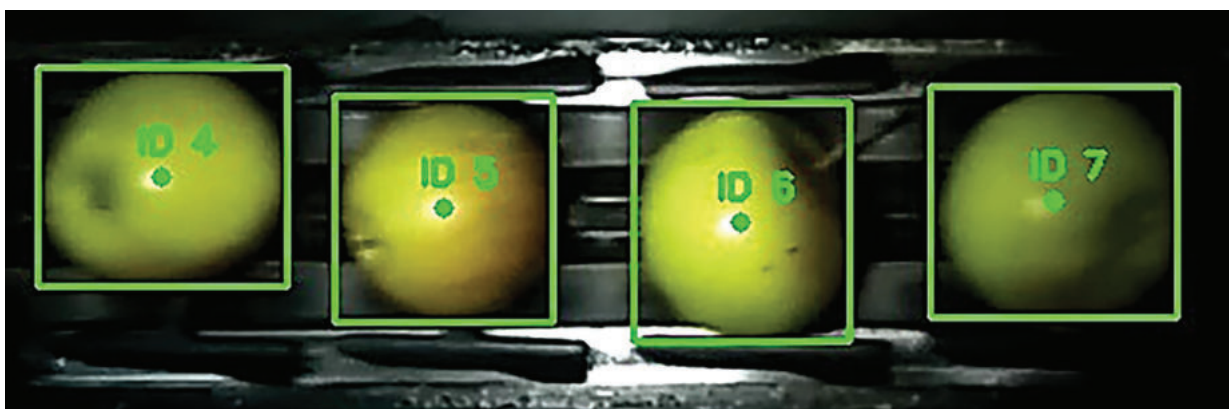


Рисунок 7 – Результат работы алгоритма трекинга объектов

номер – ИД). Алгоритм сопоставляет яблоки на двух кадрах и позволяет идентифицировать одно и то же яблоко на разных кадрах как одно, а не как несколько разных.

На рисунке 6 представлена блок-схема работы алгоритма трекинга.

BBList – это список координат ограничивающих прямоугольников  $(x1, y1, x2, y2)$ , поступающих на вход алгоритма; ObjList – список объектов (ИД id и координат ограничивающих прямоугольников  $(x1, y1, x2, y2)$ , сгенерированный алгоритм трекинга для предыдущего кадра; мин (ObjList) (макс (ObjList)) обозначает, что из списка координат ограничивающих прямоугольников объектов выбирается наименьшая координата левого нижнего угла прямоугольника (наибольшая координата правого нижнего угла).

Регистрация объекта обозначает присвоение ему ИД и включение его в список объектов, где регистрация – удаление объекта из списка объектов, соотнесение объектов означает присвоение объектам текущего кадра ИД, который выбирается из списка ИД объектов предыдущего кадра. Результат работы алгоритма трекинга объектов показан на рисунке 7.

#### **Подпрограмма распознавания дефектов яблок на изображениях с помощью искусственной нейронной сети ИНС**

Для распознавания дефектов на изображениях яблок используются сегментационная сеть Iraspp mobilenetV3 из пакета mmsegmentation PyTorch на основе обучающей выборки изображений плодов с выделением его помологических особенностей (таблица 1) и 10 различных дефектов плодов (таблица 2).

Результаты определения дефектов яблок представлены на рисунке 8.





Рисунок 8 – Результаты определения ИНС дефектов яблок

Таблица 1 – Помологические особенности яблок

Условное обозначение	Наименование	Фото	Условное обозначение	Наименование	Фото
<b>apple</b>	яблоко		<b>funnel</b>	«воронка» плодоножки без плодоножки	
<b>sepal</b>	цветоложе		<b>leg</b>	плодоножка без «воронки» (не видна)	
<b>stam</b>	«воронка» плодоножки с плодоножкой		<b>leaf</b>	лист	

#### Подпрограмма классификации сортов яблок по комплексным параметрам

Программа классификации сортов яблок по комплексным параметрам предназначена для определения наличия и распознавания дефектов плодов от механических повреждений, болезней и вредителей и присвоения сорта яблокам, в соответствии с указанными в таблице 3.

**Подпрограмма работы с базой данных (Base)** предназначена для работы с графическим приложением, настройки счетчика шагов энкодера, создания файла архива настроек управления СТЗ.

**Подпрограмма настройка параметров видеокамеры (Camera)** предназначена для настройки количества кадров съемки в секунду, диафрагмы и выдержки видеокамеры в зависимости от мощности, используемой структурной подсветки фотомодуля СТЗ, для получения качественных фотографий.

**Подпрограмма управления данными о заказах (Ctl)** предназначена для ведения базы данных о заказах, составления и хранения статистики работы СТЗ.



Таблица 2 – Дефекты яблок



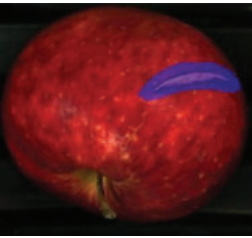


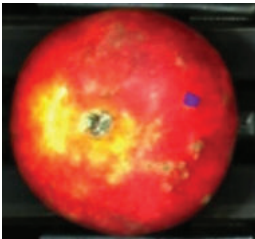
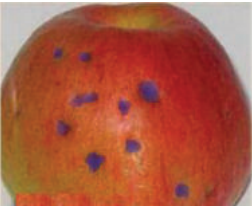



Условное обозначение	Наименование	Фото	Условное обозначение	Наименование	Фото
net	Сетка		point	Парша	
scratch	Порез		spotting	Парша	
pressure	Нажим		wart	Парша	
hail	Градобоина		lumps	Парша	
rot	Гниль		scab	Парша	

Таблица 3 – Показатели качества выполнения технологического процесса сортировки плодов

Наименование показателя	Характеристика и требования для сорта		
	высшего	первого	второго
Наибольший размер плода, мм	70–65	65–60	60–55
Механические повреждения:			
«градобоина» / “hail”	н/д*	до 2 см <sup>2</sup>	2см <sup>2</sup> –¼ поверхности
«порез», «нажим» / “scratch”, “pressure”	н/д*	до 2 см <sup>2</sup>	2–4 см <sup>2</sup>
Повреждения вредителями	н/д*	до 2 см <sup>2</sup>	2–4 см <sup>2</sup>
Повреждения болезнями / Disease damage:			
«гниль»/ “rot”	н/д*		
«сетка»/ “net”	н/д*	до ¼ поверхности	допускается
«парша» / “point”, “wart”, “spotting”, “lumps”, “scab”	н/д*	до 2 см <sup>2</sup>	2см <sup>2</sup> –¼ поверхности

\* н/д – не допускается.

**Подпрограмма управления механизмами (Transporter)** предназначена для отправления и получения данных энкодера, определения скорости движения и координат индивидуальных кареток главного конвейера для яблок, выработки управляющего сигнала соленоидам делителей потока яблок.

**Подпрограмма интерфейса пользователя (UI)** предназначена для управления графическим интерфейсом пользователя СТЗ.

**Подпрограмма «верхнего» уровня** предназначена для осуществления взаимодействия всех подпрограмм между собой, управления ими и организации цикла работы СТЗ.

### **Вывод**

Разработано программное обеспечение сортировщика, обеспечивающее обнаружение признаков, распознавание дефектов от механических повреждений, вредителей и болезней, принятие решения и механическое разделение потока яблок на три товарных сорта.

### **Список использованных источников**

1. Смирнов, И. Г. Интеллектуальные технологии и роботизированные машины для возделывания садовых культур / И. Г. Смирнов, Д. О. Хорт, А. И. Кутырев // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2021. – Т. 15, № 4. – С. 35–41.
2. Роботизированный комплекс для сортировки яблок / П. В. Балабанов [и др.] // Цифровизация агропромышленного комплекса : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 21–23 окт. 2020 г. / Тамбов. гос. техн. ун-т. – Тамбов, 2020. – Т. 1. – С. 44–47.
3. Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision / C. Szegedy [et al.] // Cornell University Library. – URL: <https://arxiv.org/pdf/1512.00567.pdf> (date of access: 15.05.2018).
4. ImageNet // Stanford Vision Lab, Stanford University, Princeton University. – URL: <http://www.image-net.org> (date of access: 05.04.2018).
5. Yuzhen, Lu. Development of a multispectral Structured Illumination Reflectance Imaging (SIRI) system and its application to bruise detection of apples [Разработка мультиспектральной системы визуализации отраженного изображения (SIRI) и ее применение для обнаружения повреждений яблок. (США)] / Lu Yuzhen, Lu Renfu // Transactions of the ASABE / Amer. soc. of agriculture and biol. engineering. -St. Joseph (Mich.), 2017. – Vol. 60, № 4. – P. 1379–1389.
6. Казакевич, П. П. Система технического зрения распознавания дефектов яблок: обоснование, разработка, испытание / П. П. Казакевич, А. Н. Юрин, Г. А. Прокопович // Весці НАН Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2021. – Т. 59, № 4. – С. 488–500. – DOI: 10.29235/1817-7204-2021-59-4-488-500.
7. Юрин, А. Н. Инновационные технологические процессы и технические комплексы для интенсивного садоводства Беларуси / А. Н. Юрин. – Минск : Беларус. навука, 2022. – 208 с.
8. Разработка алгоритмов системы распознавания ягод земляники садовой при роботизированном сборе / Д. О. Хорт [и др.] // Электротехнологии и электрооборудование в АПК / Федер. науч. агроинженер. центр ВИМ. – 2020. – № 1 (38). – С. 133–141.

**А. Н. Юрин, А. А. Игнатчик**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: anton-jurin@rambler.ru, lab\_plodoyagoda@mail.ru*

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ АГРЕГАТА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ КРОНЫ ЯГОДНЫХ КУСТАРНИКОВ АУК-1**

*Аннотация.* В статье приведены результаты предварительных испытаний агрегата для механического удаления кроны ягодных кустарников АУК-1.

*Ключевые слова:* ягодные кустарники, смородина, крыжовник, срезка кроны кустарников, кусторез, агрегат, экспериментальный образец.

**A. N. Yurin, A. A. Ignatchik**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: anton-jurin@rambler.ru, lab\_plodoyagoda@mail.ru*

## **RESULTS OF PRELIMINARY TESTS OF THE UNIT FOR REMOVING THE CROWN OF BERRY BUSHES AUK-1**

*Abstract.* The article presents the results of preliminary tests of the unit for mechanical removal of the crown of berry bushes AUK-1.

*Keywords:* berry bushes, currants, gooseberries, cutting the crown of bushes, brush cutter, unit, experimental sample.

### **Введение**

Удаление кроны ягодных кустарников необходимо при культуртехнических операциях в производстве плодово-ягодной продукции. Механический способ с использованием различных машин и механизмов получил наибольшее развитие за последние годы в Республике Беларусь и за рубежом. Наиболее распространенным видом машин для удаления кроны ягодных кустарников являются навесные и полунавесные кусторезы, которые устанавливаются на заднюю или переднюю навеску трактора.

С учетом существующих мировых тенденций развития средств удаления древесно-кустарниковой растительности в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» в рамках задания 13 «Разработать и организовать производство агрегата для механического удаления кроны ягодных кустарников» подпрограммы «Белсельхозмеханизация – 2025» ГНТП «Инновационные агропромышленные и продовольственные технологии», 2021–2025 гг. разработан агрегат для механического удаления кроны ягодных кустарников АУК-1.

На основании договора № 10.24/42408 от 12 августа 2024 г. на выполнение опытно-конструкторских работ УО «Белорусский государственный аграрный технический университет» принято участие, оказана научная помощь в проведении предварительных испытаний опытного образца агрегата для механического удаления кроны ягодных кустарников и по результатам испытаний выработаны рекомендации по его доработке.

### **Устройство и работа агрегата**

Агрегат для механического удаления кроны ягодных кустарников АУК-1 (в дальнейшем – агрегат) предназначен для механического удаления кроны низкопродуктивных ягодных кустарников, используемых в механизированной системе возделывания ягод.

Агрегат является навесным и должен агрегатироваться с тракторами тягового класса 1,4.

В соответствии с рисунком 1 агрегат состоит из шасси 1, рабочего органа 2, стеблеотвода 3, гидросистемы 4, редуктора 5, гидроцилиндра 6 и груза 7.

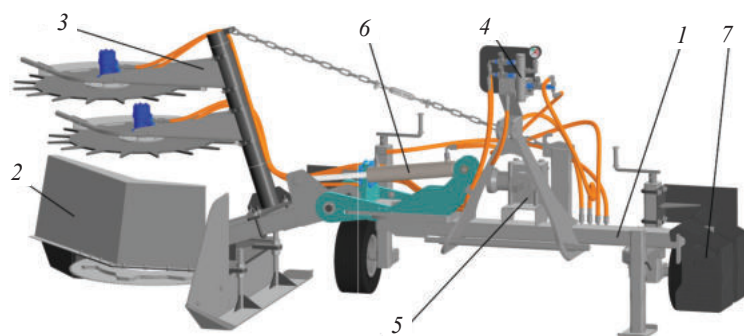


Рисунок 1 – Агрегат для механического удаления кроны ягодных кустарников АУК-1:  
1 – шасси; 2 – рабочий орган; 3 – стеблеотвод; 4 – гидросистема; 5 – редуктор; 6 – гидроцилиндр; 7 – груз

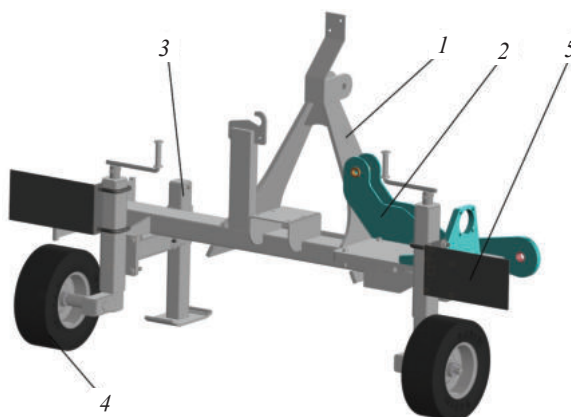


Рисунок 2 – Шасси: 1 – рама; 2 – кронштейн; 3 – стойка опорная; 4 – колесо опорное; 5 – кронштейн

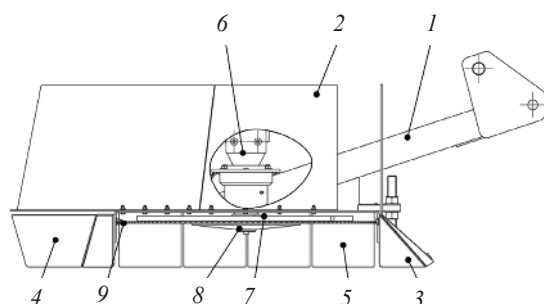


Рисунок 3 – Рабочий орган: 1 – рама; 2 – кожух; 3 – полость; 4 – полость; 5 – фартук; 6 – привод;  
7 – фланец; 8 – диск; 9 – пила дисковая

Шасси 1 обеспечивает возможность передвижения агрегата в процессе работы. Шасси состоит из рамы 1 (рисунок 2), кронштейна 2, стойки опорной 3, колеса опорного 4 и кронштейна 5.

Рама представляет собой сварную конструкцию, состоящую из навески, консоли и кронштейна.

Стойка опорная предназначена для опоры агрегата при хранении и состоит из кронштейна и ноги, расположенных под углом  $90^\circ$  относительно друг друга. Нога перемещается и фиксируется в кронштейне.

Колесо опорное предназначено для опоры агрегата как во время работы, так и при кратковременном хранении, состоит из стойки, корпуса, колеса и ручки. Вращая ручку, корпус перемещается внутри стойки, тем самым поднимая или опуская опорное колесо.

Рабочий орган предназначен для срезания кроны ягодных кустарников. Рабочий орган (рисунок 3) состоит из рамы 1, кожуха 2, полостей 3 и 4, фартука 5, привода 6, фланца 7, диска 8 и пилы дисковой 9.

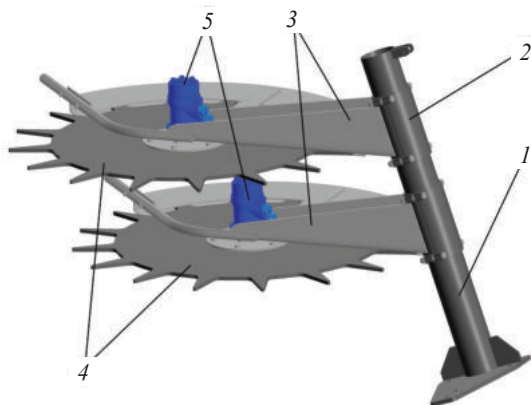


Рисунок 4 – Стеблеотвод: 1 – стойка; 2 – хомут; 3 – кронштейн; 4 – мотовило; 5 – гидромотор

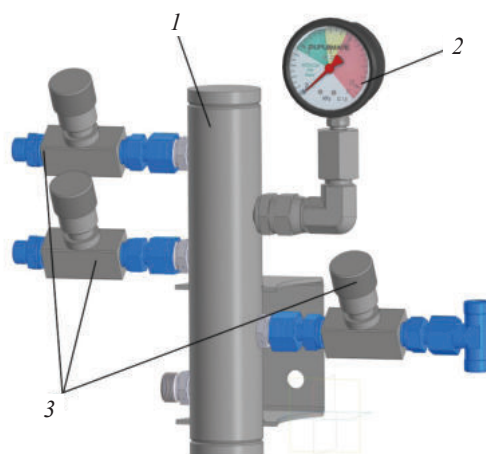


Рисунок 5 – Гидравлическая система: 1 – смеситель; 2 – манометр; 3 – регулятор потока

Рама предназначена для установки на ней всех узлов рабочего органа и представляет собой сварную конструкцию, состоящую из основания и консоли, расположенных под углом относительно друг друга.

Привод состоит из редуктора, вала, втулки, корпуса, диска, кольца и прокладки.

Стеблеотвод предназначен для укладки срезанных стеблей кроны ягодных кустарников в валок. Стеблеотвод состоит из стойки 1 (рисунок 4), хомута 2, кронштейнов 3, мотовила 4 и гидромотора 5.

Стойка 1 представляет собой сварную конструкцию, по которой перемещается кронштейн 3 и фиксируется хомутом 2. На кронштейне 3 установлено мотовило 4, которое приводится в движение гидромотором 5.

Мотовило предназначено для отклонения срезанных ветвей кустов.

Гидроцилиндр 6 (рисунок 1) предназначен для перевода агрегата из транспортного положения в рабочее и обратно. Гидроцилиндр должен быть подключен к гидросистеме трактора, минуя гидросистему агрегата.

Гидросистема агрегата (рисунок 5) предназначена для привода мотовила. Гидросистема состоит из смесителя 1, манометра 2 и регуляторов потока 3. Привод гидросистемы осуществляется от гидросистемы трактора.

Технологический процесс, выполняемый агрегатом, осуществляется следующим образом: на месте проведения работ агрегат переводится из транспортного положения в рабочее. Перед началом движения включается ВОМ трактора. Крутящий момент от привода трактора передается через шарнирно-телескопический вал к редуктору 5 (рисунок 1) и приводу 6 (рисунок 3) рабочего органа. Мотовила приводятся в действие при помощи гидравлической системы трактора, гидравлической системы агрегата и рукавов высокого давления, подключенных к трактору.

Основные параметры, размеры и количество обслуживающего персонала агрегата должны соответствовать указанным в таблице.

#### Показатели назначения

Наименование показателя	Показатели
1. Тип	Навесной
2. Рабочая скорость движения, км/ч	0,2–0,6
3. Транспортная скорость движения, км/ч, не более	25
4. Масса агрегата, кг, не более	1 100
5. Количество рабочих органов, шт	1
6. Диаметр дискового рабочего органа, мм, не более	900
7. Скорость вращения дискового рабочего органа, мин <sup>-1</sup> , не более	2 000
8. Количество обрабатываемых рядков, шт	1



Наименование показателя	Показатели
9. Количество обслуживающего персонала, чел.	1
10. Конструктивная ширина захвата, м	0,9
11. Габаритные размеры в рабочем положении, мм, не более: – длина – ширина – высота	3 600 6 500 2 500
12. Габаритные размеры в транспортном положении, мм, не более: – длина – ширина – высота	3 600 2 500 2 500
13. Удельный расход топлива, кг/га, не более	15
14. Производительность за час основного времени (при ширине междурядья 3,5 м), га/ч	0,07–0,21
15. Высота среза кроны кустарников, см, не более	6
16. Полнота среза кроны кустарников, %, не менее	95

### Программа проведения испытаний опытного образца агрегата

Целью предварительных испытаний является определение соответствия опытного образца агрегата требованиям технического задания (ТЗ) и стандартов, а также определение технических характеристик и решение вопроса о возможности его представления на приемочные испытания.

При приемке агрегата на испытания проводят предварительную оценку безопасности конструкции и делают заключение о возможности допуска к проведению испытаний.

Программа исследовательских испытаний экспериментального образца агрегата включает в себя следующие виды оценок:

- оценку технических параметров (техническая экспертиза);
- агротехническую оценку;
- энергетическую оценку;
- оценку безопасности и эргономичности конструкции;
- эксплуатационно-технологическую оценку;
- оценку надежности.

### Испытания опытного образца агрегата

Испытания проводились в условиях сада Республиканского унитарного предприятия «Толочинский консервный завод» г. Толочин Витебской области (рисунок 6),



Рисунок 6 – Опытный образец агрегата на предварительных испытаниях

Агрегатирование осуществлялось с трактором класса 1,4 («Беларус-921»).

Качество изготовления осуществлялось визуальным контролем узлов и деталей устройства, а также обмером всех геометрических размеров устройства и его рабочих органов.

В процессе проверки агрегатирования с трактором отмечена устойчивость агрегата при прямолинейном движении и на поворотах и отсутствие задевания поверхностей устройства с трактором и поверхностью дороги.

Работа гидросистемы обеспечивает плавность перевода из транспортного положения в рабочее и обратно, работу механизма поворота рамы и механизма складывания в транспортное положение. При складывании рабочие органы агрегата не задевают поверхность площадки и детали трактора.

Рабочая высота пилы дисковой регулируется высотой установки опорного колеса путем вращения рулировочных винтов, а также перемещением опорной лыжи по регулировочным отверстиям (3 положения) и фиксацией пальца. Рабочая высота мотовила регулируется путем перемещения хомутов вдоль стойки.

Отмечена правильная работа механизма передачи крутящего момента от ВОМ трактора на дисковую пилу и складывания агрегата в транспортное положение.

В результате испытаний установлено, что все механизмы опытного образца агрегата работоспособны, а его геометрические размеры соответствуют конструкторской документации.

Испытания проводились путем удаления кроны кустарников черноплодной рябины (высота кроны – 1 000–1 200 мм, максимальная ширина кроны – 600–800 мм, диаметр стеблей куста у поверхности почвы – 3–20 мм, междурядное расстояние – 4 000 мм) в фиксированном и плавающем режимах гидравлической системы задней подвески трактора (рисунок 7).

В ходе предварительных испытаний опытного образца было выявлено следующее:

- в фиксированном режиме гидравлической системы трактора из-за разной высоты почвы в местах движения трактора и среза кроны происходит раскачивание агрегата в горизонтальной плоскости, что приводит к внедрению дисковой пилы в почву (рисунок 8) и неравномерному срезу стеблей кроны кустов по высоте (рисунок 9);

- в плавающем режиме гидравлической системы трактора высота среза равномерна, а работа агрегата более стабильна;

- происходит внедрение в почву опорной лыжи и полоза из-за недостаточной площади опоры на почву;

- из-за конструктивных ограничений минимальный уровень высоты дисковой пилы (высота среза ветвей кустарника) составляет 100–200 мм и более при требовании в техническом задании – не более 60 мм;

- из-за конструктивных ограничений (наличие редуктора привода дисковой пилы под мотовило) минимальный уровень высоты нижнего мотовила стеблеотвода не позволяет эффективно захватывать и откидывать в сторону стебли срезанной кроны, высота которых ниже 1 200 мм, что приводит к заклиниванию мотовила и навалу срезанной кроны в рабочей зоне агрегата.

#### **Рекомендации по устранению выявленных недостатков агрегата для механического удаления кроны ягодных кустарников АУК-1 по результатам предварительных испытаний**

На основании полученных результатов предварительных испытаний опытного образца агрегата для механического удаления кроны ягодных кустарников АУК-1 были разработаны рекомендации по устранению выявленных недостатков:

- при эксплуатации агрегата использовать только плавающий режим гидравлической системы навески трактора;

- увеличить площадь опорной поверхности опорной лыжи и полоза или заменить их на опорные колеса;

- конструктивно обеспечить возможность выбора меньшей высоты расположения дисковой пилы относительно поверхности почвы для обеспечения высоты среза стеблей кроны кустарника не более 60 мм;

- конструктивно обеспечить возможность выбора меньшей высоты расположения нижнего мотовила, изменения конструкции и/или расположения привода дисковой пилы, если это невозможно, то изменить конструкцию направляющей стеблеотвода так, чтобы обеспечивать откидывание стеблей кроны в сторону под собственным весом срезанных стеблей и инерционными силами.





Рисунок 7 – Процесс работы агрегата при удалении кроны кустов черноплодной рябины



Рисунок 8 – Внедрение дисковой пилы агрегата в почву



Рисунок 9 – Неравномерный срез стеблей кроны кустов по высоте

## **Заключение**

В соответствии с программой и методикой предварительных испытаний опытного образца агрегата для механического удаления кроны ягодных кустарников было принято участие в предварительных испытаниях опытного образца агрегата на территории сада Республиканского унитарного предприятия «Толочинский консервный завод» (г. Толочин, Витебская область).

По результатам предварительных испытаний опытного образца агрегата для механического удаления кроны ягодных кустарников АУК-1 разработаны рекомендации по устранению выявленных недостатков в конструкции агрегата.

## **Список использованных источников**

1. Организационно-технологические нормативы возделывания овощных, плодовых, ягодных культур и выращивания посадочного материала : сб. отраслевых регламентов / НАН Беларуси, Ин-т систем, исслед. в АПК НАН Беларуси ; рук. разраб.: В. Г. Гусаков [и др.]. – Минск : Беларус. навука, 2010. – 520 с.
2. Емельянова, О. В. Технологический регламент возделывания малины ремонтантной с механизированной уборкой урожая. Плодоводство / О. В. Емельянова, К. Л. Коровин, Ж. В. Шибут. – 2016;28(1): 356-364.
3. Навесные машины для срезания веток. – URL: <https://www.agriexpo.ru/proizvoditel-agri/navesnaa-masina-srezania-vetok-1064.html> (дата обращения: 25.07.2023).

**А. Н. Юрин<sup>1</sup>, А. Н. Юрина<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: anton-jurin@rambler.ru

<sup>2</sup>РУП «БелГИМ»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: info@belgim.by

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ САДОВОГО ТУННЕЛЬНОГО ОПРЫСКИВАТЕЛЯ**

*Аннотация.* В данной статье приведено обоснование рациональных конструктивных параметров садового туннельного опрыскивателя.

*Ключевые слова:* туннельное устройство, садовый опрыскиватель, диффузор, воздушный поток, вентилятор.

**A. N. Yurin<sup>1</sup>, A. N. Yurina<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: anton-jurin@rambler.ru

<sup>2</sup>RUE "BelGIM"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: info@belgim.by

## **DETERMINATION OF RATIONAL DESIGN PARAMETERS OF A GARDEN TUNNEL SPRAYER**

*Abstract.* This article presents the rationale for the design and technological scheme of a tunnel sprayer and its main parameters.

*Keywords:* tunnel device, garden sprayer, diffuser, airflow, fan.

### **Введение**

Одной из важнейших проблем садоводства Беларуси является борьба с вредителями и болезнями.

В настоящее время для обработки садов рабочими растворами ядохимикатов применяются вентиляторные опрыскиватели как отечественного, так и импортного производства. Однако такие опрыскиватели имеют много недостатков.

Вредное воздействие ветра на объем и проникновение жидкости для опрыскивания вентиляторного типа является общеизвестной помехой в технологии химической защиты садов.

Итогом функционирования таких опрыскивателей является то, что потери рабочего раствора на почву и в атмосферу достигают от 90 до 30 % в зависимости от периода обработки, что существенно увеличивает затраты на возделывание культур и вредное воздействие на окружающую среду.

Устранить вышеуказанные недостатки существующей технологии химической обработки садов интенсивного типа можно, создав и внедрив в производство туннельные опрыскиватели.

При использовании таких опрыскивателей обработка растений осуществляется в закрытой камере. На растениях остается то количество рабочего раствора, которое может удержать листостебельный аппарат растения и его плоды. Капли рабочего раствора, не осевшие на растениях, улавливаются специальными устройствами и возвращаются обратно в основной бак опрыскива-



теля. В результате зараженность листьев и плодов растений вредителями снижается примерно с 50 до 1–2 %. Степень загрязнения окружающей среды пестицидами уменьшается на 50–85 % по сравнению с традиционными способами обработки.

За рубежом производство подобных опрыскивателей освоено такими компаниями, как Munckhoff (Голландия), Lirco (Германия), Weremczuck (Польша) и другими.

В нашей стране в настоящее время камерные (туннельные) опрыскиватели не производятся. Кроме того, не проведены исследования по обоснованию их рациональных конструктивных параметров. В этой связи, обоснование рациональных параметров туннельного опрыскивателя является актуальной инженерной и научной задачей.

#### **Обоснование функциональной схемы туннельного опрыскивателя**

Как уже указывалось выше, при использовании туннельных опрыскивателей обработка растений осуществляется в закрытой камере, вследствие чего на растениях остается то количество рабочего раствора, которое может удержать листостебельный аппарат насаждения. Рабочий раствор, проходя сквозь ряд насаждений, осаждается на их ветвях и листьях (рисунок 1). При этом часть раствора, не осевшая на кронах, попадает в противоположный шатер туннельного опрыскивателя, скапливается на стенках конденсаторов, стекает и после фильтрации попадает обратно в бак.

Для обеспечения качественной обработки насаждений различной плотности необходимо создать достаточный воздушный поток, способный обеспечить транспортирование рабочего раствора пестицида в плотную крону многолетнего дерева на поздней стадии вегетации. При этом для большей экономии рабочего раствора, не осевшего на ветви и листья обрабатываемых деревьев, необходимо обеспечить наиболее полное улавливание потока «окном» противоположного шатра.

Для проведения поисковых исследований рациональной конструкции туннельного опрыскивателя были предложены следующие функциональные схемы: со встречным движением воздушных потоков (рисунок 2, а); с круговым движением воздушного потока и поперечно расположенными вентиляторами (рисунок 2, б); с круговым движением воздушного потока и продольно расположенными вентиляторами (рисунок 2, в); с круговым движением воздушного потока с диффузором типа «Улитка» (рисунок 2, г).

Экспериментальные исследования приведенных функциональных схем показали, что наиболее перспективной представляется схема с круговым движением воздушного потока с диффузором типа «Улитка» (рисунок 3, г), так как она обеспечивает повышение скорости воздушного

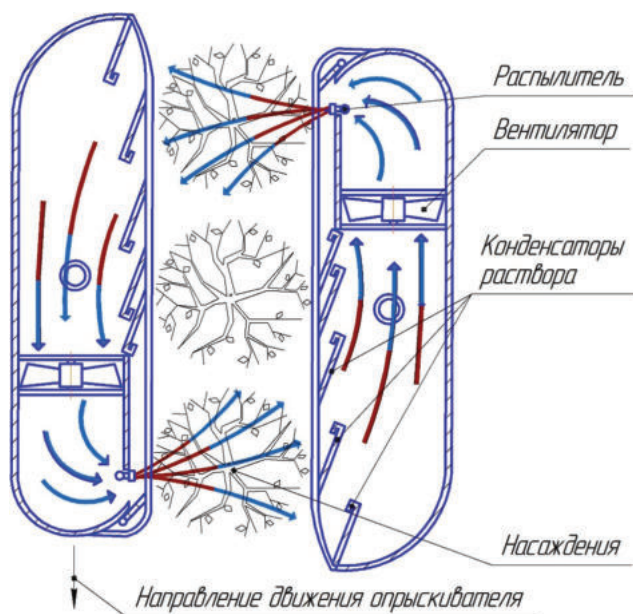


Рисунок 1 – Схема работы туннельного опрыскивателя

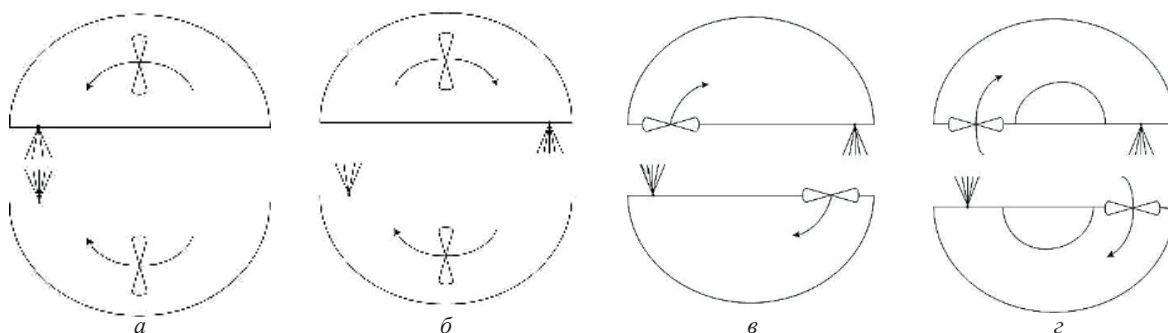


Рисунок 2 – Функциональные схемы туннельного опрыскивателя: *а* – со встречным движением потоков; *б* – с круговым движением потоков и поперечно расположенными вентиляторами; *в* – с круговым движением потоков и продольно расположенными вентиляторами; *г* – с диффузором типа «Улитка»

потока на 25–70 % по сравнению с остальными схемами, что позволит повысить энергетическую отдачу вентиляторов. Кроме того, в приведенной схеме ниже неравномерность распределения скорости воздушного потока по ширине и высоте устройства (на 35–50 % и 42–61 % соответственно по сравнению с другими схемами устройства), что обеспечивает более равномерную обработку насаждений.

### Макетный образец туннельного опрыскивателя

Для определения рациональных параметров туннельного опрыскивателя, а также для уточнения результатов теоретических исследований в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» был создан макетный образец туннельного опрыскивателя (рисунок 3), который состоит из рамы 1 двух шатров 2, установленных друг напротив друга и образующих портал, внутри которого происходит обработка. Каждый шатер оборудован вентилятором 3 и блоком распылителей 6. Рабочий раствор пестицида насосом 4 из бака 5 подается к распылителям. Распыленный раствор транспортируется в ряд насаждений воздушным потоком, создаваемым вентиляторами.

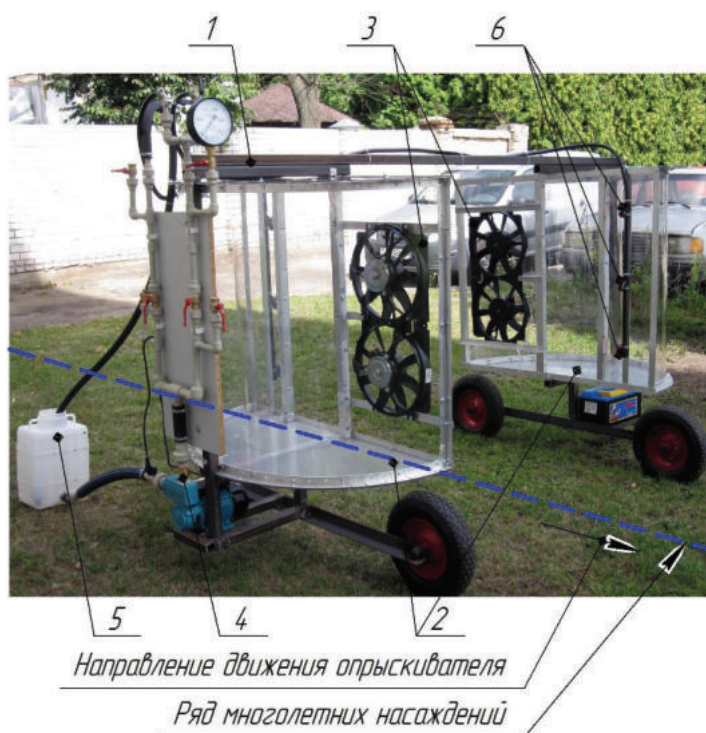


Рисунок 3 – Макетный образец туннельного опрыскивателя:  
1 – рама; 2 – шатер; 3 – вентилятор; 4 – насос; 5 – бак; 6 – распылители

В верхней части рамы установлен кронштейн, позволяющий регулировать ширину туннеля в диапазоне от 700 до 1 200 мм.

Таблица 1 – Краткая техническая характеристика макетного образца туннельного опрыскивателя

Наименование показателя	Значение показателя
Привод	электрический
Рабочая ширина захвата на культурах, м	0,7–1,2
Основная ширина междурядий, м	более 3,0
Потребляемая мощность, кВт	0,75
Рабочая скорость, км/ч	2–7
Габариты опрыскивателя, мм:	
– длина	1 650
– ширина	2 600
– высота	1 580
Насос:	
– потребляемая мощность, кВт	0,75
– максимальное рабочее давление, МПа	78
– производительность, л/мин	48
Вентилятор (воздушный нагнетатель):	
– число вентиляторов, шт.	2
– частота вращения рабочего колеса, об/мин	3 200
– потребляемая мощность, кВт	0,3×2
Распылители:	
– тип и форма сопла	конусное
– количество, шт.	6
– пределы регулировки угла установки к горизонту, град.	0–30
– расход жидкости, дм <sup>3</sup> /мин	4–20

### Условия проведения экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводились в помещении с нормальными климатическими условиями:

- температура воздуха  $+25 \pm 10$  °С;
- относительная влажность воздуха 45–80 %;
- атмосферное давление 630–800 мм рт. ст.

Для проведения испытаний были изготовлены макеты плодовых деревьев (рисунок 4), которые представляют собой укрепленные вертикально деревянные бруски (стволы) размером 40×40 мм, высотой 1 500 мм и горизонтальные крестообразные кронштейны (ветви), выполненные из тех же брусков.



Рисунок 4 – Макет плодового дерева

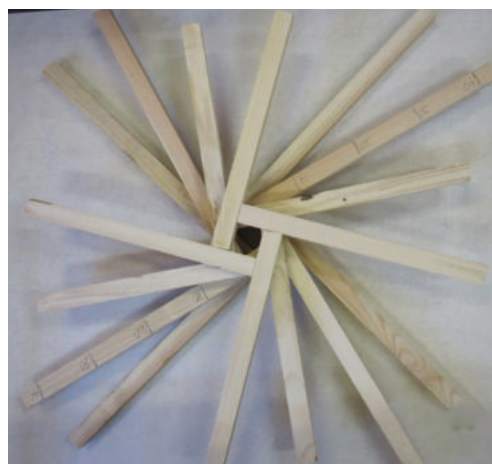


Рисунок 5 – Макеты веток плодового дерева

Ветви деревьев имитировали крестовины, выполненные из деревянных брусков сечением 28×28 мм (рисунок 5). При этом размах крестовин-веток составлял от 600 мм до 1 000 мм. Имитаторы ветвей имели возможность перемещения по высоте по вертикально закрепленным брускам-стволам.

К макетам веток крепились бумажные бирки – листья.

#### **Методика проведения экспериментальных исследований**

В качестве исходного материала при лабораторных исследованиях опрыскивателей применялась чистая или подкрашенная инертным красителем (нигрозином) вода. Температуру жидкости измеряли термометром непосредственно перед проведением опытов. Измерения проводились с погрешностью  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

Фактический расход жидкости через распылители определяли на чистой воде.

Жидкость, вытекающую из одиночных наконечников, собирали в течение 1–2 мин в сосуды (емкости) и измеряли ее объем с погрешностью не более 1 % в трехкратной повторности.

При обработке данных лабораторных экспериментальных исследований вычислялось среднее арифметическое значение расхода жидкости отдельными распылителями,  $\text{дм}^3/\text{мин}$ , по формуле:

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}, \quad (1)$$

где  $Q_i$  – расход жидкости распылителем,  $\text{дм}^3/\text{мин}$ ;  $n$  – число распылителей, шт.

Стандартное отклонение расхода жидкости между отдельными распылителями,  $\text{дм}^3/\text{мин}$ , вычислялось по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}{n - 1}}. \quad (2)$$

Неравномерность расхода жидкости между отдельными распылителями выражалась коэффициентом вариации, %, и вычислялась по формуле:

$$v = 10^2 \frac{\sigma}{\bar{Q}}. \quad (3)$$

Фактическую подачу жидкости насосом опрыскивателя определяли в трехкратной повторности при оптимальной частоте вращения приводного вала, в пятикратной повторности при значениях давления в нагнетательной магистрали от нулевого до максимального рабочего давления. Для этого к нагнетательному патрубку насоса подсоединяли рукав высокого давления с манометром и краном. Жидкость, вытекающую из нагнетательных трубопроводов и редукционного устройства, собирали в емкость, вместимость которой была предварительно измерена. Время опыта фиксировали секундомером с погрешностью  $\pm 1$  с.

Метеорологические условия (температуру и относительную влажность воздуха, скорость ветра и направление ветра по отношению к движению машины) определяли по ГОСТ 20915.

Рельеф и микрорельеф поля, влажность и твердость почвы определяли по ГОСТ 20915.

Рабочую скорость движения определяли на учетном проходе длиной не менее 50 м в трехкратной повторности.

Продолжительность опыта измеряли секундомером с погрешностью  $\pm 1$  с, длину учетного прохода измеряли рулеткой с погрешностью  $\pm 1$  см.

Рабочую скорость,  $\text{км}/\text{ч}$ , вычисляли по формуле:

$$v_p = 3,6 \frac{L}{t}, \quad (4)$$

где  $L$  – длина учетного прохода, м;  $t$  – продолжительность опыта, с.

Вычисления проводили с округлением до первого десятичного знака.

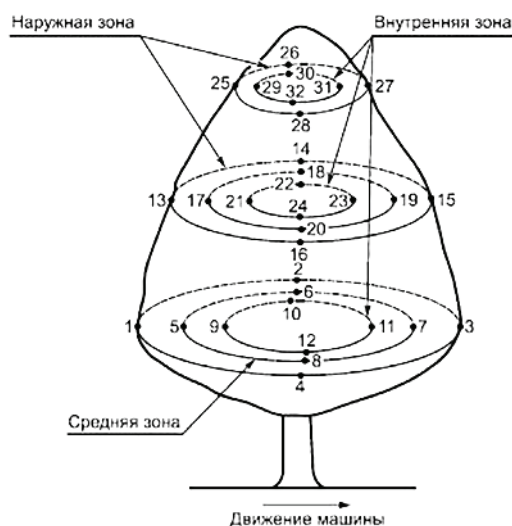


Рисунок 6 – Схема размещения карточек на макетах плодовых деревьев

Отклонение фактического расхода рабочей жидкости от заданного, %, вычисляется по формуле:

$$Q_{\text{ж}} = 10^2 \frac{Q_{\text{ф}} - Q_{\text{з}}}{Q_{\text{з}}}, \quad (5)$$

где  $Q_{\text{ф}}$  – фактический расход (норма) жидкости,  $\text{дм}^3/\text{га}$ .

Густоту покрытия и дисперсность распыла жидкости опрыскивателями определяли при лабораторно-полевых исследованиях. В качестве рабочей жидкости использовали однопроцентный раствор нигрозина.

Густоту покрытия и дисперсность распыла определяли на карточках из мелованной бумаги, обработанных трехпроцентным раствором парафина в толуоле для уменьшения растекания улавливаемых капель.

Перед проведением опытов учетные карточки размещали на «ветках» – макетах деревьев в трех ярусах по высоте дерева (верхнем, среднем, нижнем), в трех зонах по глубине (наружной, средней, внутренней) для нижнего и среднего ярусов, а в верхнем ярусе – в двух зонах (наружной и внутренней). В каждой зоне яруса размещали по четыре карточки во взаимно перпендикулярных плоскостях по схеме в соответствии с рисунком 4. Размещение зон: внутренняя – на 0,5 м от ствола, средняя – делит пополам расстояние между наружной и внутренней зонами. Всего развешивали 32 карточки размерами 50×70 мм.

Густоту покрытия, капель/ $\text{см}^2$ , вычисляли по формуле:

$$П_{\text{o}} = \frac{n_{\text{к}}}{S_{\text{п}}}, \quad (6)$$

где  $n_{\text{к}}$  – общее число учтенных капель;  $S_{\text{п}}$  – просмотренная площадь,  $\text{см}^2$ .

#### Результаты исследования параметров скоростного потока туннельного устройства шатрового опрыскивателя с диффузором типа «Улитка»

При работе туннельного устройства шатрового опрыскивателя рабочий раствор жидкости самотеком поступает из бака в насос, а затем по соединительным трубопроводам – к распылителям форсунок, установленным на образующих шатрах. Далее распыленный рабочий раствор транспортируется воздушным потоком, созданным блоками вентиляторов, по кругу в пределах шатрового устройства, осуществляя при этом обработку насаждений в промежутке между полуцилиндрическими половинами шатра. В данном случае воздушный поток, созданный блоками вентиляторов, является средством, обеспечивающим качественную обработку контрольных листов макетов деревьев («листьев») за счет обеспечения их «шевеления», и средством транспортировки раствора вглубь кроны насаждения и далее.



Таким образом, для обеспечения наиболее качественной обработки необходимо создать воздушный поток высокой скорости и объема путем проникновения рабочего раствора через крону. Иными словами, скорость воздушного потока должна быть избыточна для обработки самых плотных насаждений.

В то же время при обработке менее плотных насаждений будут происходить потери рабочего раствора за счет увода части рабочего раствора за пределы приемного «окна» с вентиляторами противоположной полуцилиндрической части шатра.

Очевидно, что для обеспечения максимальной экономии распыленного рабочего раствора, необходимо сформировать воздушный поток таким образом, чтобы обеспечить его максимально возможное попадание в приемное «окно» противостоящего шатра.

В целях определения параметров скоростного потока на выходе с туннельного устройства были проведены замеры скорости воздушного потока на выходе с туннельного опрыскивателя по высоте и по ширине на расстоянии 500 и 1 000 мм от вентилятора.

Для этого по центру диффузора ставился макет фруктового дерева и производились замеры скорости воздушного потока на имитаторах-ветках при различном удалении от ствола. Кроме этого, замеры скоростного потока производились на различных высотах имитаторов веток плодовых деревьев.

Замеры параметров скоростного потока, создаваемого вентиляторами макета туннельного опрыскивателя, производились анемометром Testo 452.

Замеры параметров воздушного потока с диффузором типа «Улитка» приведены в таблице 2.

Анализ полученных результатов показал, что наибольшие скорости воздушного потока смещаются от ствола к наружному краю туннельного опрыскивателя на высотах ствола макета плодового дерева от 600 до 1 280 мм.

Для того чтобы воздушный скоростной поток от одной половины туннельного опрыскивателя не только точно попадал в центральную часть всасывающих вентиляторов противоположного полуцилиндра шатрового опрыскивателя, но и обеспечивал максимальную скорость был изготовлен и смонтирован дефлектор с изменяемым углом поворота (рисунок 7).

Таблица 2 – Скорость воздушного потока с диффузором типа «Улитка»

Высота, м	Расстояние от оси распыления, мм								
	-400	-300	-200	-100	0	100	200	300	400
370	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0
600	0	0	1	4	8,8	9,2	9,6	3,8	0
940	1	1,6	3	4,8	8	8,8	8,8	4,2	1,6
1 280	0	0	0	5,2	6	6,2	6,6	2	0
1 500	0	0	0	0	0	0	0	0	0

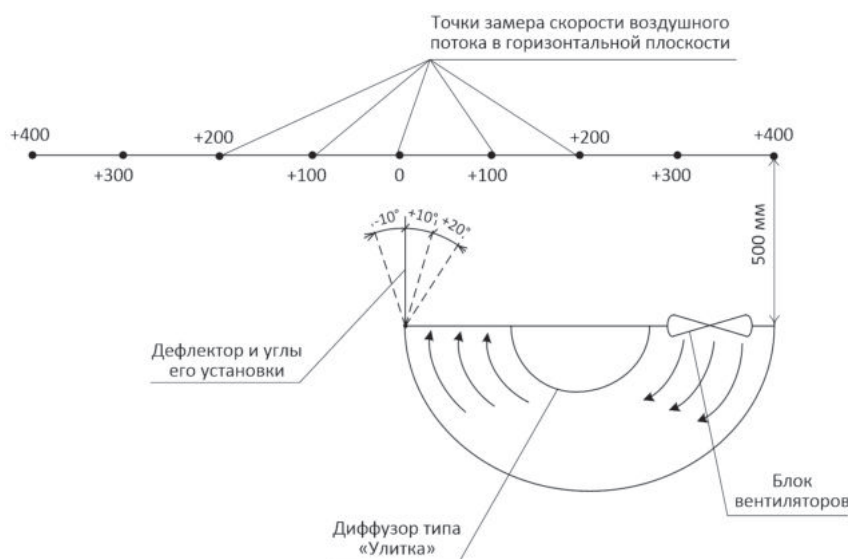


Рисунок 7 – Определение скорости воздушного потока при различных углах установки дефлектора

Экспериментальные исследования определения параметров скоростного потока при различных углах установки дефлектора проводились в такой последовательности. Сначала устанавливали макет дерева. Затем осуществляли замер скорости воздушного потока на высотах 370, 600, 940, 1 280 и 1 500 мм от поверхности земли на расстоянии 500 мм от края распылителей.

Привод вентиляторов осуществлялся от АКБ (12 V, 100 А).

Частота вращения вентиляторов составляла 2 500–2 800 об/мин.

Замеры параметров скоростного потока, создаваемого вентиляторами макета туннельного опрыскивателя, производились анемометром Testo 452.

Скорость всасывания вентиляторами определялась при различных углах установки дефлектора к плоскости, перпендикулярной направлению движения туннельного устройства и распылителей к горизонту.

Анализ полученных результатов показал, что для создания максимального скоростного потока необходимо устанавливать дефлектор под углом 20 градусов к вертикали.

### **Результаты исследования потерь рабочего раствора в туннельном устройстве шатрового опрыскивателя с диффузором типа «Улитка»**

Экспериментальные исследования по определению потерь рабочего раствора через распылители туннельного устройства шатрового опрыскивателя проводились в следующей последовательности.

1. Фактические потери рабочего раствора определяли при частичном опорожнении емкости методом долива до начального уровня измеренного количества раствора.

2. В форсунках, установленных в туннельном устройстве, применяли конические ( $2\gamma = 80^\circ$ ) распылители.

3. Привод вентиляторов осуществлялся от АКБ (12 V, 100 А).

4. Частота вращения вентиляторов составляла 2 500–2 800 об/мин.

5. Определяли потери рабочего раствора, изменяя угол установки дефлектора в диапазоне от  $-10^\circ$  до  $30^\circ$  с интервалом  $5^\circ$ , при угле установки форсунок к горизонту  $+5^\circ$ .

6. Определяли потери рабочего раствора, изменяя угол установки нижней форсунки к горизонту в диапазоне от  $-10^\circ$  до  $30^\circ$  с интервалом  $5^\circ$ .

Замеры потерь рабочего раствора и графики зависимости потерь рабочего раствора от угла установки дефлектора и форсунки приведены на рисунках 8–13.

Анализ полученных результатов показал, что максимальные потери рабочего раствора происходят:

- при установке дефлектора под углом  $+10^\circ$  градусов к вертикали;
- при установке нижней форсунки под углом  $+10^\circ$  градусов к горизонту.

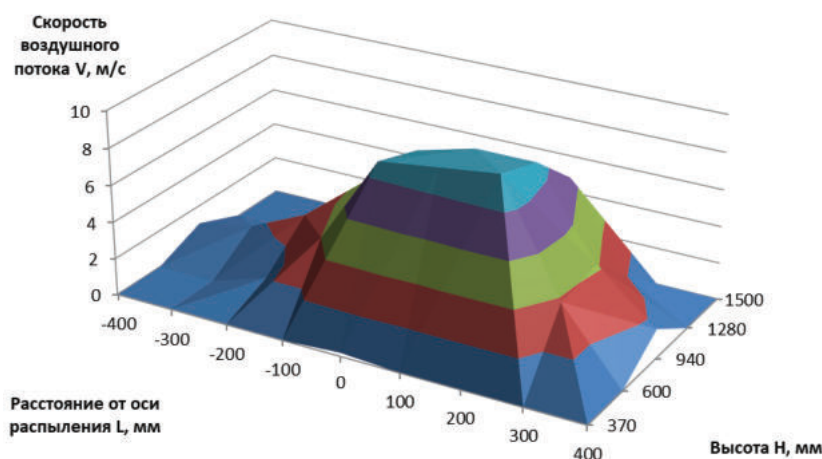


Рисунок 8 – График зависимости скорости воздушного потока от расстояния от оси распыления и высоты замера в камере с диффузором типа «Улитка» без дефлектора

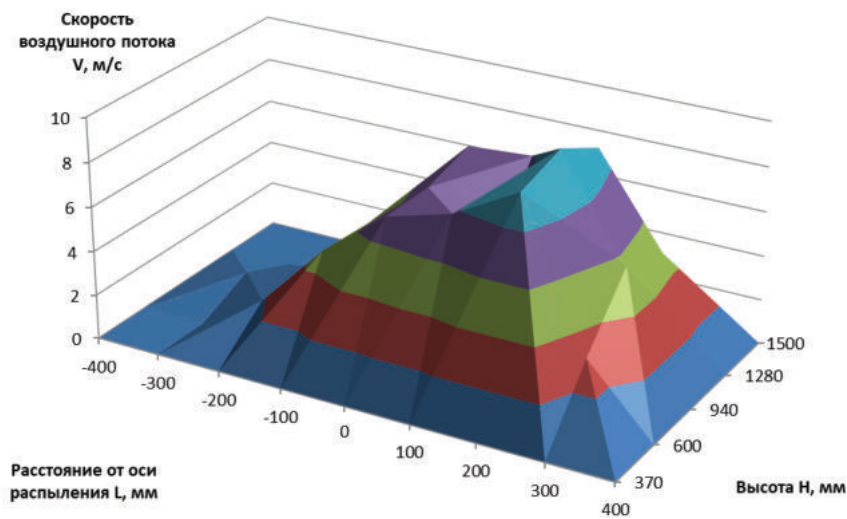


Рисунок 9 – График зависимости скорости воздушного потока от расстояния от оси распыления и высоты замера в камере с диффузором типа «Улитка» и дефлектором, установленным под углом  $-10^\circ$

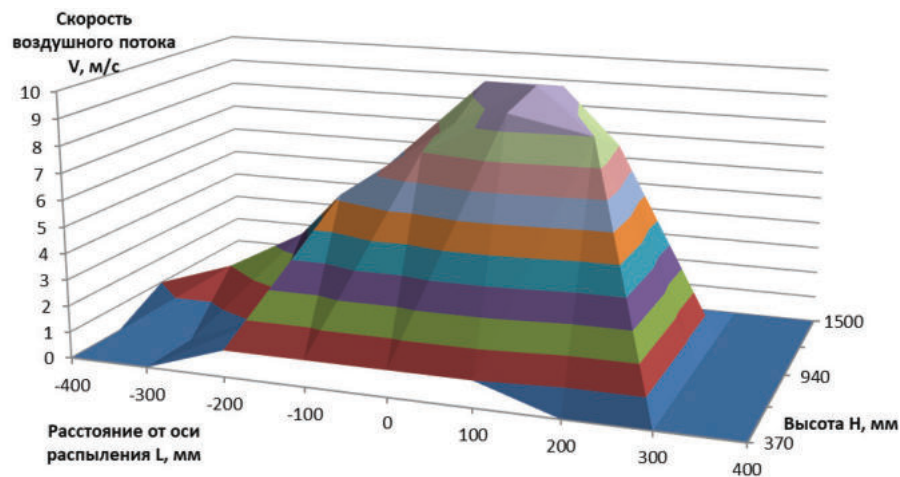


Рисунок 10 – График зависимости скорости воздушного потока от расстояния от оси распыления и высоты замера в камере с диффузором типа «Улитка» и дефлектором, установленным под углом  $0^\circ$

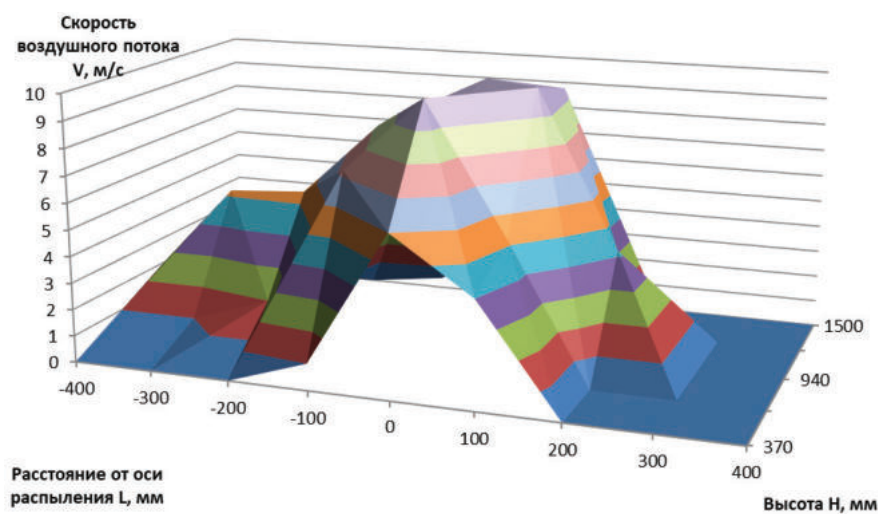


Рисунок 11 – График зависимости скорости воздушного потока от расстояния от оси распыления и высоты замера в камере с диффузором типа «Улитка» и дефлектором, установленным под углом  $+10^\circ$

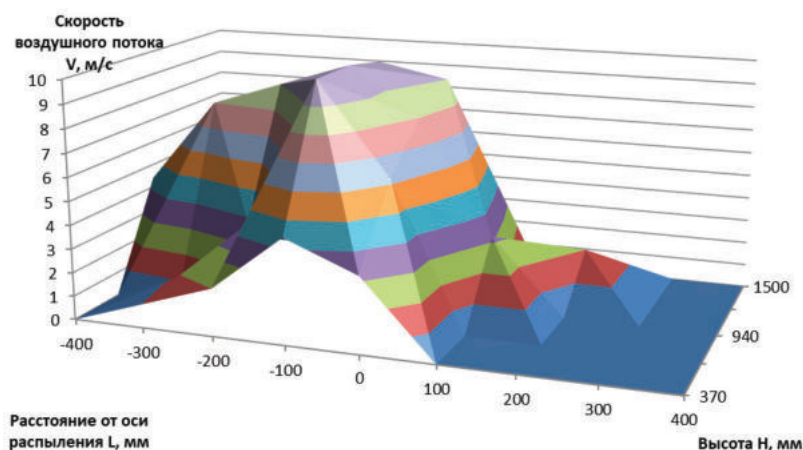


Рисунок 12 – График зависимости скорости воздушного потока от расстояния от оси распыления и высоты замера в камере с диффузором типа «Улитка» и дефлектором, установленным под углом  $+20^\circ$

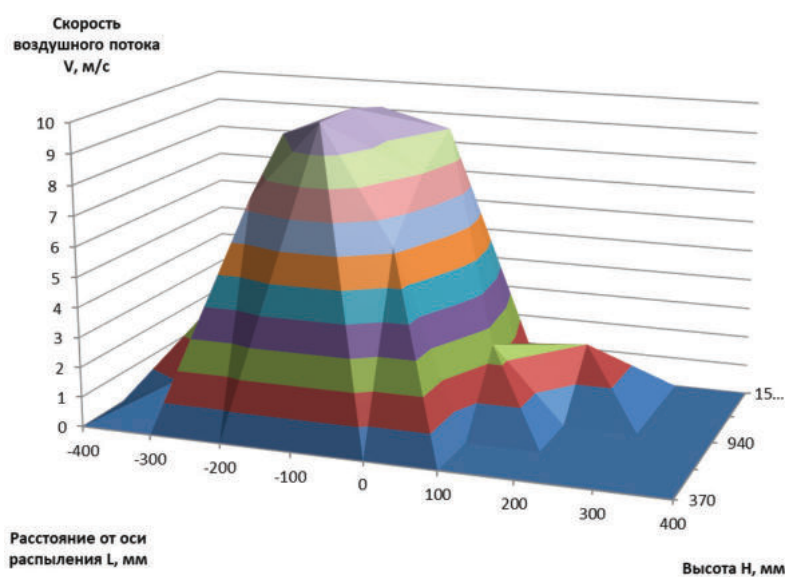


Рисунок 13 – График зависимости скорости воздушного потока от расстояния от оси распыления и высоты замера в камере с диффузором типа «Улитка» и дефлектором, установленным под углом  $+30^\circ$

Таблица 3 – Потери рабочего раствора при изменении угла установки дефлектора к вертикали

Угол установки дефлектора, $^\circ$	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30
Потери рабочего раствора, %	50	40	33	25	18	16	16	20	27

Графическая интерпретация зависимости потерь воздушного потока от угла установки дефлектора приведена на рисунке 14.

Как видно из рисунка наименьшие потери потока наблюдаются при угле установки дефлектора  $15\text{--}20^\circ$ .

Таблица 4 – Потери рабочего раствора при изменении угла установки нижней форсунки к горизонту

Угол установки форсунки, $^\circ$	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30
Потери рабочего раствора, %	60	43	28	21	22	24	28	32	37

Графическая интерпретация зависимости рабочего раствора при изменении угла установки нижней форсунки к горизонту приведена на рисунке 15.

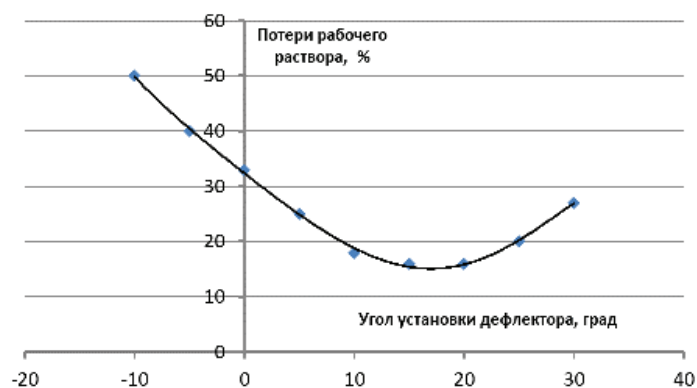


Рисунок 14 – Зависимость потерь рабочего раствора от угла установки дефлектора при угле установки форсунок к горизонту +5°

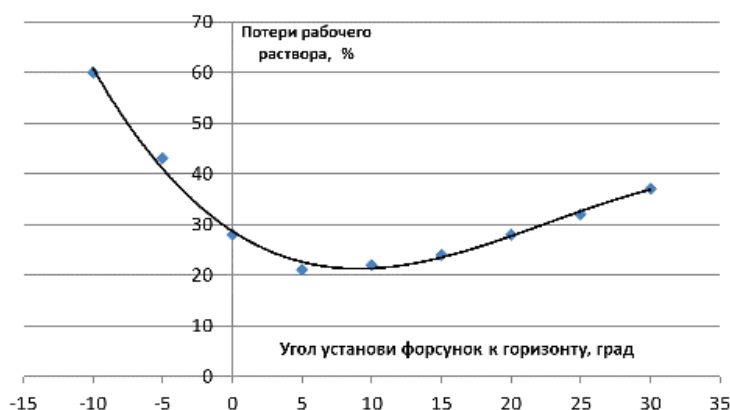


Рисунок 15 – Зависимость потерь рабочего раствора от угла установки нижней форсунки к горизонту

### Заклучение

Рациональной конструктивно-технологической схемой туннельного устройства шатрового опрыскивателя является схема с круговым движением воздушного потока с диффузором типа «Улитка» и дефлектором, установленным под углом 20° к вертикали (рисунки 8, 10).

Обоснованы тип и углы установки форсунок к направлению движения устройства (90°) и к горизонтали (5–10°), наименее допустимое расстояние от нижней и верхней горизонтальной плоскостей шатра до форсунок.

Экспериментально определены наименьшая потребная скорость движения воздушного потока при обработке садов, ягодников и виноградников, а также линейная зависимость между параметрами ширины тоннеля, высоты и длины шатра.

### Список использованных источников

1. Мержаниан, А. С. Виноградарство / А. С. Мержаниан. – 3-е изд. – М. : Колос, 1967. – 464 с.
2. Виноградарство Крыма / А. П. Дикань, В. Ф. Вильчинский, Э. А. Верновский, И. Я. Заяц. – Симферополь : Бизнес-Информ, 2001. – 408 с.
3. Догода, А. П. Состояние и перспективы развития машин для безопасной технологии химической защиты многолетних насаждений / Наукові праці Південного філіалу Національного Університету біоресурсів і природокористування України «Кримський агротехнологічний університет». Технічні науки. – Симферополь, 2009. – Вип. 122. – С. 121–126.
4. Энциклопедия виноградарства : в 3 т. ; под ред. А. И. Тимуш. – Кишинев : Гл. ред. Молдавской сов. энциклопедии, 1987. – 552 с. – 3 т.
5. Национальный стандарт Украины «Машины для обработки виноградников агрохимикатами в закрытой камере (туннельного типа)».
6. Козарь, И. М. Справочник по защите винограда от болезней, вредителей и сорняков / И. М. Козарь. – Киев : Урожай, 1990. – 205 с.



**А. Н. Юрин, С. П. Кострома**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: anton-jurin@rambler.ru*

## **АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОЧИСТКИ И ДЕЗИНФЕКЦИИ КОНТЕЙНЕРОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ПЛОДОВ И ОВОЩЕЙ**

*Аннотация.* В данной статье приведен анализ существующих технических средств для очистки и дезинфекции контейнеров для хранения плодов и овощей.

*Ключевые слова:* контейнер, хранение, дезинфекция.

**A. N. Yurin, S. P. Kostroma**

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: anton-jurin@rambler.ru*

## **ANALYSIS OF EXISTING TECHNICAL PRODUCTS FOR CLEANING AND DISINFECTING CONTAINERS FOR STORING FRUIT AND VEGETABLES**

*Abstract.* This article provides an analysis of existing technical means for cleaning and disinfecting containers for storing fruits and vegetables.

*Keywords:* container, storage, disinfection.

### **Введение**

Анализ современного состояния технологического процесса возделывания плодовоовощных культур показывает, что закладка на хранение плодов и овощей по-прежнему относится к числу наименее исследованных его звеньев, но именно этот этап оказывает существенное влияние на выход конечной продукции.

Основные потери продукции при хранении обусловлены болезнями овощных и плодовых культур, значительное место в которых занимают гнили хранения. Они значительно распространены в природе (почва, воздух, стены помещений и т. д.) и без проблем попадают на овощи и плоды, а затем на тару для хранения, где могут достаточно долго (несколько лет) сохраняться в латентном состоянии. На сочных овощах и плодах грибы находят оптимальные условия для своего роста и развития – достаточное количество питательных веществ, кислую среду. Большой набор ферментов дает им возможность легко разрушать ткани и проникать внутрь плодов. Кроме того, складская температура (+2...+2,5 °С) и влажность воздуха (95 %) способствуют прорастанию спор, заражению и развитию болезней, которые проявляются главным образом в форме разных гнилей и плесени.

Поэтому для повышения эффективности хранения овощей и плодов необходимо учитывать сортовые особенности и сроки съема, и в последующем осуществлять жесткий санитарный контроль за состоянием камер хранения и тары, исключая возможность контакта здоровых плодов с больными. Необходимо не позднее, чем за 15 суток до загрузки плодовоовощной продукции в камеры, проводить их дезинфекцию вместе с оборудованием, инвентарем и тарой.

На сегодняшний день в Республике Беларусь отсутствует выпуск оборудования для системного обеззараживания тары, вследствие чего потери продукции из-за несоблюдения данного технологического приема составляют 20–25 %. Начиная с 2010 г. в республике введены в эксплуатацию хранилища для хранения плодов и овощей совокупной мощностью 496 тыс. т. Исходя из

вышеприведенных цифр, потери хранящейся в них продукции могут достигать до 100 тыс. т, что эквивалентно 12–15 млн долл. США. Следовательно, вопрос внедрения на специализированных предприятиях по производству плодоовощной продукции оборудования для дезинфекции тары хранения является актуальным и экономически значимым в масштабах страны.

### Основная часть

Овощи и фрукты могут быть заражены при повторном использовании контейнеров для хранения. Необходимо выделить следующие поверхностные загрязнения контейнеров для хранения овощей и фруктов:

- микробиологические;
- химические;
- механические.

Общая классификация загрязнения поверхностей контейнеров для хранения овощей и фруктов приведена на рисунке 1.

*Микробиологическое загрязнение.* Овощи и фрукты могут быть заражены микроорганизмами – бактериями, вирусами и паразитами, которые способны вызывать заболевания у человека. Микроорганизмы могут проникнуть в свежие продукты в качестве загрязняющих веществ из окружающей среды (почвы, пыли), а также при контакте с человеком в результате плохой гигиенической обработки. Другие способы заражения возможны из-за плохой практики производства и обращения, такой как применение навоза и использование загрязненной воды при орошении. Перекрестное загрязнение поверхности тары, используемой для хранения овощей и фруктов, происходит во время погрузочно-разгрузочных работ.

Овощи и фрукты подвержены многим видам гниения, вызванным грибами или бактериями. Послеуборочные заболевания могут начаться до или после сбора урожая.

Раны, порезы или ушибы, полученные во время сбора урожая, являются возможными точками проникновения для бактерий и грибов. После заражения болезнь может распространиться на здоровые овощи и фрукты, а также на поверхности тары.

Среди болезней косточковых культур значительное место занимают гнили хранения. Имея значительное распространение в природе – почве, воздухе, на стенах помещений и т. д. – они без проблем попадают на плоды в саду и в плодохранилище, и самое главное они могут достаточно долго (несколько лет) сохраняться в латентном состоянии на таре для хранения. Таким образом, тара может способствовать развитию болезней. Поэтому для повышения эффективности хранения плодоовощной продукции необходимо осуществлять жесткий санитарный контроль за состоянием камер хранения и тары, исключать возможность контакта здоровых плодов с больными, а также учитывать сортовые особенности и сроки съема, не позднее, чем за 15 суток до загрузки плодов в камеры, необходимо провести его дезинфекцию вместе с оборудованием, инвентарем и тарой.

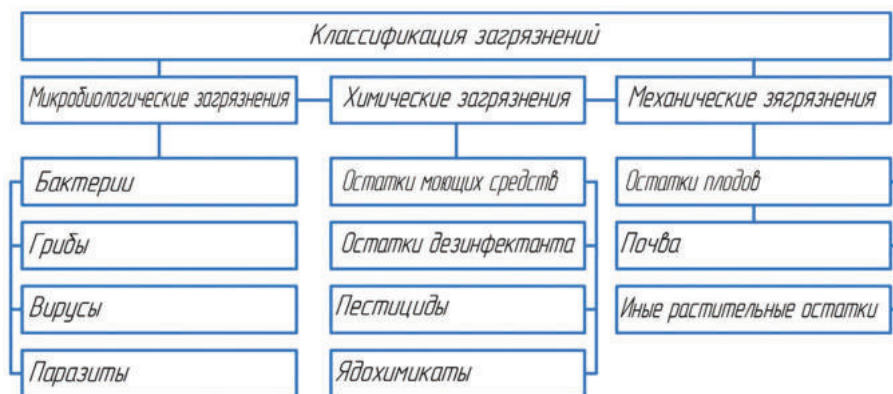


Рисунок 1 – Общая классификация загрязнения поверхностей контейнеров для хранения овощей и фруктов



Рисунок 2 – Классификация технологий мойки и дезинфекции контейнеров для хранения овощей и фруктов

*Химическое загрязнение.* Неограниченное использование ядохимикатов и пестицидов в сельскохозяйственном производстве может привести к химическому загрязнению свежих продуктов. Загрязнение контейнеров химикатами может представлять химическую опасность при повторном использовании тары.

*Механическое загрязнение.* В контейнеры может попадать почва, остатки ранее хранимых в них овощей и плодов, древесины и других растительных остатков, которые необходимо удалять.

Анализ технологий мойки и дезинфекции контейнеров для хранения овощей и фруктов, сделанный при проведении патентных исследований, позволяет классифицировать способы согласно составленной блок-схеме (рисунок 2).

Дезинфекция дает желаемый эффект только при предварительной очистке поверхностей контейнеров от загрязнений, которая может производиться физическими, химическими и комбинированными методами.

Физический метод заключается в использовании механических способов очистки поверхностей контейнеров. При химическом методе для удаления всех видов загрязнений используются моющие средства, кислоты или щелочи. Комбинированный метод представляет собой сочетание физического и химического методов.

На сегодняшний день в Республике Беларусь отсутствует выпуск оборудования для системной дезинфекции тары.

В то же время за рубежом выпускается подобное оборудование. Так, для дезинфекции тары за рубежом используют оборудование фирм Mechatec (Нидерланды) [1] и Haith (Англия) (рисунки 3 и 4).

Данное оборудование очищает тару водой под давлением до 6 МПа с одновременной обработкой дезинфицирующим раствором. Расход воды на один контейнер составляет 100 л. Как показала практика, использование моек под большим давлением для очистки и дезинфицирования деревянных контейнеров приводит к снижению срока службы тары до 5 лет (30–40 лет срок службы в Германии). Это приводит к высоким издержкам на закупку новых контейнеров и затратам на электроэнергию и воду.

ООО «Клинский машиностроительный завод» (Россия) выпускает мойки ММК-2 (рисунок 5). Мойка контейнеров для овощей предназначена для мойки деревянных контейнеров по окончании сезона хранения [2].



Рисунок 3 – Машина для мойки и дезинфекции тары Бохер фирмы Mechatec



Рисунок 4 – Машина для мойки и дезинфекции тары фирмы Naith



Рисунок 5 – Машина для мойки и дезинфекции ММК-2



Процесс мойки контейнеров обычно проходит в два этапа. На первом этапе контейнер моют водой под высоким давлением для снятия засохшей грязи и остатков гниения. Второй этап – обработка специальным обеззараживающим раствором. Поэтому для более производительного и технологичного процесса заводом-изготовителем рекомендовано применять две машины для мойки контейнеров одновременно. Вилочным погрузчиком контейнер устанавливается на вращающуюся платформу. Внешняя часть моется (обрабатывается) распыляющими форсунками, расположенными по периметру контейнера, в процессе его постоянного вращения. Внутренняя часть деревянного контейнера моется (обрабатывается) роботизированной моющей головкой, которая выдвигается в глубину контейнера и поворачивается по заданной программе для промывки всех внутренних углов. Обеззараживающий раствор может сливаться в отдельную донную емкость, фильтроваться и использоваться повторно.

Техническая характеристика машины для мойки и дезинфекции ММК-2 представлена в таблице.

**Техническая характеристика машины для мойки и дезинфекции ММК-2**

Наименование показателей	Значение
Производительность машины, шт/ч	15–20
Расход воды (при давлении 2 МПа), м <sup>3</sup> /ч	10
Мощность гидростанции, кВт	5,5
Масса, кг	980
Напряжение, В	380
Суммарное энергопотребление, кВт	19
Габаритные размеры, мм, не более:	
длина	2 400
ширина	2 100
высота	3 040

Для дезинфекции тары могут использоваться рабочие растворы на основе тяжелой пены бензойной кислоты. Машина для дезинфекции тары препаратами в виде пены выпускает фирма Menno (Германия) (рисунок 6) [3].

Использование пены повышает адгезионные свойства раствора, дает возможность визуально контролировать качество обработки и позволяет быстрее и эффективнее справляться с заражениями грибковыми микроорганизмами, особенно в труднодоступных местах. Также использование пены бензойной кислоты, по сравнению с другими средствами, не требует смывания нанесенного раствора с обработанных поверхностей, так как средство не содержит вредных для контакта даже с сельскохозяйственными продуктами пищевого назначения веществ.

В настоящее время для очистки контейнеров перед дезинфекцией преимущественно используются мойки высокого давления, недостатком которых являются высокий расход воды, а также большие затраты ручного труда. При этом создается водяной барьер для дезинфицирующего раствора, который препятствует уничтожению грибов и болезней внутри древесины, и, следовательно, снижает эффективность дезинфекции.



Рисунок 6 – Машина для дезинфекции тары препаратами в виде пены



Исходя из вышеизложенного, возникает необходимость в разработке нового высокоэффективного способа автоматизированной очистки и дезинфекции контейнеров для хранения плодово-овощной продукции, применение которого позволит снизить потери плодовоовощной продукции при хранении.

### **Заключение**

Проведен анализ существующих технических средств для очистки и дезинфекции контейнеров для хранения плодов и овощей. По результатам исследований сделаны следующие выводы.

1. Использование пены повышает адгезионные свойства раствора, дает возможность визуально контролировать качество обработки и позволяет быстрее и эффективнее справляться с заражениями грибковыми микроорганизмами, особенно в труднодоступных местах. Использование пены бензойной кислоты, по сравнению с другими средствами, не требует смывания нанесенного раствора с обработанных поверхностей, так как средство не содержит вредных для контакта даже с сельскохозяйственными продуктами пищевого назначения веществ.

2. В настоящее время для очистки контейнеров перед дезинфекцией преимущественно используются мойки высокого давления, недостатком которых являются высокий расход воды, а также большие затраты ручного труда. При этом создается водяной барьер для дезинфицирующего раствора, который препятствует уничтожению грибов и болезней внутри древесины, и, следовательно, снижает эффективность дезинфекции.

Исходя из вышеизложенного, возникает необходимость в разработке нового высокоэффективного способа автоматизированной очистки и дезинфекции контейнеров для хранения плодово-овощной продукции, применение которого позволит снизить потери плодовоовощной продукции при хранении.

### **Список использованных источников**

1. Официальный сайт компании Boxer. – URL: <https://www.mechatecnl.com/producten/boxer-kistenwasser> (дата обращения: 29.05.2024).
2. Машина мойки контейнеров ММК-2. – URL: <https://klinmash.agroserver.ru/tovari/1601352.htm> (дата обращения: 29.05.2024).
3. Официальный сайт компании Menno. – URL: [https://www.menno.de/fileadmin/user\\_upload/Disinfection\\_of\\_Big-Boxes-digital\\_hygiene\\_documentation\\_by\\_BLX-BoxLogisti\\_X.pdf](https://www.menno.de/fileadmin/user_upload/Disinfection_of_Big-Boxes-digital_hygiene_documentation_by_BLX-BoxLogisti_X.pdf) (дата обращения: 29.05.2024).

**А. Н. Юрин, В. В. Викторovich**

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*E-mail: anton-jurin@rambler.ru, lab\_plodoyagoda@mail.ru*

## **ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ МАШИНЫ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ ТЕПЛИЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*Аннотация.* В статье представлен краткий обзор обеспечения населения страны плодовоовощной продукцией, поднята проблема утилизации растительных отходов тепличного производства, рассмотрены существующие методы утилизации растительных отходов в сельском хозяйстве и промышленности, предложено решение проблемы подбора и измельчения органических отходов тепличного производства и приведено обоснование конструктивно-технологической схемы машины для измельчения органических отходов тепличного производства.

*Ключевые слова:* тепличные комбинаты, органические отходы, тепличное производство, методы утилизации, технические средства, измельчитель.

**A. N. Jurin, V. V. Viktorovich**

*RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization",*

*Minsk, Republic of Belarus*

*E-mail: anton-jurin@rambler.ru, lab\_plodoyagoda@mail.ru*

## **RELEVANCE OF THE PROBLEM OF SELECTION AND GRINDING OF ORGANIC WASTE FROM GREENHOUSE PRODUCTION**

*Abstract.* The article provides a brief overview of the supply of fruits and vegetables to the population produced by greenhouse plants in the Republic of Belarus. The problem of recycling plant waste from greenhouse production is raised, existing methods of recycling plant waste in agriculture and industry are considered. A solution to the problem of selecting and grinding organic waste from greenhouse production is proposed.

*Keywords:* greenhouse plants, organic waste, greenhouse production, disposal methods, technical means, shredder.

### **Введение**

Согласно подпрограмме 1 «Развитие растениеводства, переработки и реализация продукции растениеводства» [1] в республике проводится целенаправленная работа по защите внутреннего рынка, производству конкурентоспособной овощной продукции в открытом и защищенном грунте.

При средней урожайности 279 центнеров с гектара среднегодовой сбор овощей в течение пятилетки (2016–2019 гг.) составил 1,8 млн т, что на 109,1 % больше, чем в 2015 г. [2]. Весь урожай овощей защищенного грунта в целом по республике в 2019 г. составил 123,8 тыс. т продукции, в том числе: огурцов – 46,9 тыс. т, томатов – 75,4 тыс. т и прочих культур – 1,4 тыс. т.

В 2020 г. сбор овощей составил 1,75 млн т, или 95,6 % к 2019 г., при средней урожайности 277 центнеров с гектара по сравнению с 284 ц в 2019 г. и 245 ц в 2015 г. Производство овощей защищенного грунта за 2020 г. составило 118,705 тыс. т. [2].

В 2022 г. в условиях защищенного грунта выращено 110,4 тыс. т овощей, из них огурцов – 41,7 тыс. т, томатов – 66,3 тыс. т, прочих овощей и зеленных культур – 2,4 тыс. т. В целом по итогам года объемы тепличной продукции позволяют обеспечить потребности внутреннего рынка, однако отмечается недостаток огурцов и томатов в межсезонный период.

В 2023 г. овощей собрано 2,8 млн т при средней урожайности 298 ц/га. В защищенном грунте произведено 105 тыс. т овощей, или 3,8 % от общего объема производства. В структуре производства овощей в защищенном грунте доля помидоров составила 58,2 %, огурцов – 40 %, прочих овощей – 1,8 % [2].

По объему производства овощей в защищенном грунте первенство принадлежит Минской области. В 2023 г. областью произведено 46 тыс. т овощей, или 43,8 % от общего объема производства в республике, в том числе помидоров – 27,7 тыс. т (45,4 %), огурцов – 16,9 тыс. т (40,2 %).

По состоянию на 2023 г. в Республике Беларусь промышленное значение имеют 21 тепличный комбинат, общая площадь остекленных теплиц которых составляет 270 га. Зимние теплицы в крупных хозяйствах занимают 231 га.

Ежегодно в защищенном грунте получают примерно 110 тыс. т овощной продукции (в 2023 г. – 105 тыс. из-за прекращения работы старых – более 30 лет эксплуатации – низкоэффективных теплиц).

В десятку организаций, имеющих наибольшие площади под защищенным грунтом, входят ОАО «ДорОрс», МРУП «Агрокомбинат «Ждановичи», ОАО «ТК «Берестье», КСУП «Минская овощная фабрика», ОАО «Рудаково», КСУП «Тепличное», РУАП «Гродненская овощная фабрика», УП «Минский ПТ комбинат», ОАО «Рассвет» им. К. П. Орловского», КСУП «Брилево».

В настоящее время в республике проводится системная модернизация имеющегося в наличии тепличного комплекса: оснащение существующих теплиц технологиями светокультуры и дополнительная постройка новых современных теплиц. Строительство новых теплиц планируется не только в тепличных хозяйствах, но и в крестьянских (фермерских) хозяйствах [3].

Из вышеизложенного следует, что объемы произведенной тепличными хозяйствами овощной продукции будут только расти. Соответственно в геометрической прогрессии будут расти и объемы растительных остатков, которые необходимо удалить по завершении процесса выращивания в кратчайшие сроки.

Так, в соответствии с НТП 10-95 «Нормы технологического проектирования теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады» выход растительных остатков с 1 га теплиц составляет [4]:

- огурца – партенокарпических гибридов – 60–70 т;
- пчелоопыляемых сортов и гибридов – 80–90 т;
- томата – 90–100 т;
- томата при продленной или переходной культуре – 120–130 т;
- при приспускании шпаперы – 170–200 т.

Отсюда следует, что в Беларуси выход растительных остатков с 270 га теплиц при возделывании огурца партенокарпических гибридов и томата при продленной или переходной культуре составляет 24,3–27,0 тыс. т ежегодно (при соотношении занимаемых культурами площадей остекленных теплиц 50×50).

## Основная часть

В соответствии с предлагаемой нами методикой инженерного расчета конструктивно-технологических параметров устройства для подбора и измельчения органических отходов тепличного производства необходимо задаться конструктивно-технологической схемой (рисунок 1).

Следующим этапом приводится перечень искомых конструктивно-технологических параметров устройства для подбора и измельчения органических отходов тепличного производства.

Конструктивно-технологические параметры устройства для подбора и измельчения органических отходов тепличного производства подлежат определению методом инженерного расчета, основанного на теоретических предпосылках:

- $v_{сл}$  – скорость подачи слоя измельчаемого растительного материала, м/с;
- $b_{тп}$  – ширина транспортировочного полотна, мм;
- $l_{тп}$  – длина транспортировочного полотна, мм (на схеме не показано);
- $b_r$  – ширина загрузочной горловины, мм (на схеме не показано);

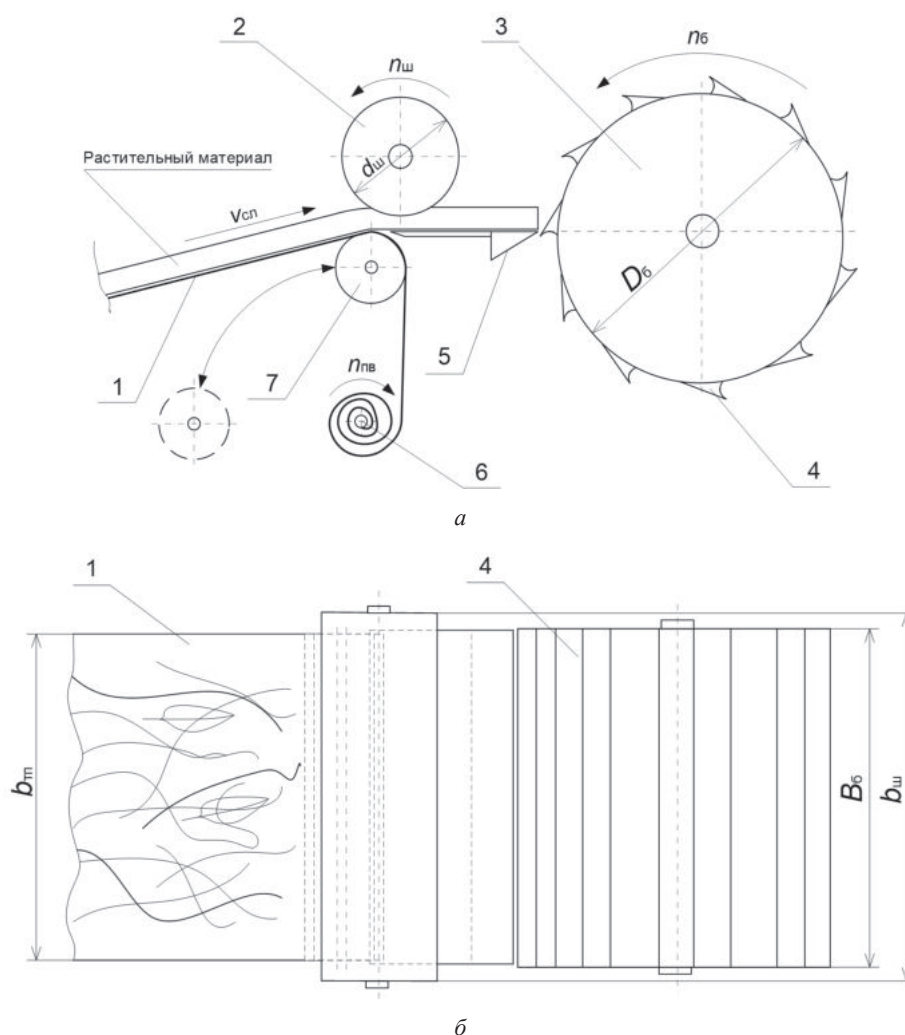


Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема устройства для подбора и измельчения органических отходов тепличного производства: *а* – вид сбоку; *б* – вид сверху; 1 – транспортировочное полотно; 2 – шнек со встречной навивкой; 3 – ножевой барабан; 4 – нож; 5 – противорежущая пластина; 6 – подающий валец; 7 – прижимной валец

- $h_T$  – высота загрузочной горловины, мм (на схеме не показано);
- $n_{пв}$  – частота вращения подающего вальца,  $\text{мин}^{-1}$ ;
- $d_{пв}$  – диаметр подающего вальца, мм (на схеме не показано);
- $b_{пв}$  – ширина подающего вальца, мм (на схеме не показано);
- $n_{ш}$  – частота вращения шнека,  $\text{мин}^{-1}$ ;
- $d_{ш}$  – диаметр шнека со встречной навивкой, мм;
- $b_{ш}$  – ширина шнека со встречной навивкой, мм;
- $n_б$  – частота вращения режущего барабана,  $\text{мин}^{-1}$ ;
- $D_б$  – диаметр ножевого барабана, мм;
- $B_б$  – ширина ножевого барабана, мм;
- $\Delta h$  – высота расположения оси ножевого барабана над противорежущей пластиной, мм (на схеме не показано);
- $z$  – количество ножей на ножевом барабане, шт. (на схеме не показано).

Методика инженерного расчета конструктивно-технологических параметров устройства для подбора и измельчения органических отходов тепличного производства включает использование общепринятых числовых значений конструктивных и механико-технологических параметров, применяемых при инженерном расчете барабанных измельчителей грубых стебельчатых кормов [5–11]:

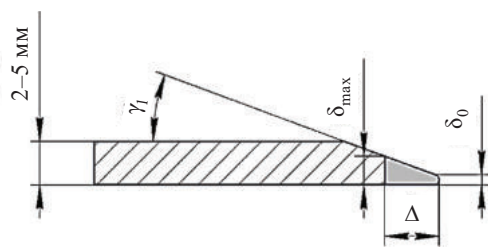


Рисунок 2 – Схема к определению параметров лезвия ножа

- угол заточки ножа  $\gamma_1 = 12\text{--}22^\circ$  (рисунок 2);
- острота лезвия  $\delta_0 = 20\text{--}40$  мкм (при затуплении лезвия допускается острота  $\delta_{\max} = 100$  мкм) (рисунок 2);
- ширина стачиваемой части лезвия  $\Delta = 250\text{--}500$  мкм (рисунок 2);
- зазор режущей пары  $\delta$  (для барабанных режущих аппаратов  $\delta = 1,5\text{--}4,6$  мм);
- угол защемления материала  $\chi$  (для барабанных режущих аппаратов  $\chi = 24^\circ\text{--}30^\circ$ );
- угол скольжения ножа  $\tau = 17^\circ\text{--}30^\circ$ ;
- объемная масса стебельчатых кормов  $\rho_c = 90\text{--}120$  кг/м<sup>3</sup>;
- модуль упругости материала прожилки  $E' = 15\text{--}30$  МПа;
- модуль упругости основного материала  $E'' = 3\text{--}4$  МПа.

Основными параметрами измельчительного аппарата являются расположение горловины относительно оси ножевого барабана и его диаметр.

Расположение горловины относительно оси вала ножевого барабана по вертикали (рисунок 3, а) обусловлено кинематическим режимом работы измельчающего аппарата и в данном случае зависит от соотношения поступательной скорости  $v_{\text{сл}}$  слоя измельчаемого растительного материала и горизонтальной составляющей  $v_{\text{гор}}$  окружной скорости барабана  $v_6$ .

Из схемы (рисунок 3, а) видно, что горизонтальная составляющая скорости лезвия при повороте барабана на  $90^\circ$  изменяет свое значение от  $-v_6$  до 0 и при повороте еще на  $90^\circ$  от 0 до  $+v_6$ . В то же время поступательная скорость  $v_{\text{сл}}$  подачи слоя остается постоянной по величине и направлению.

При встрече лезвия со слоем в I квадранте растительный материал слоя будет отталкиваться ножом, что препятствует поступлению материала в ножевой барабан и нарушает процесс резания.

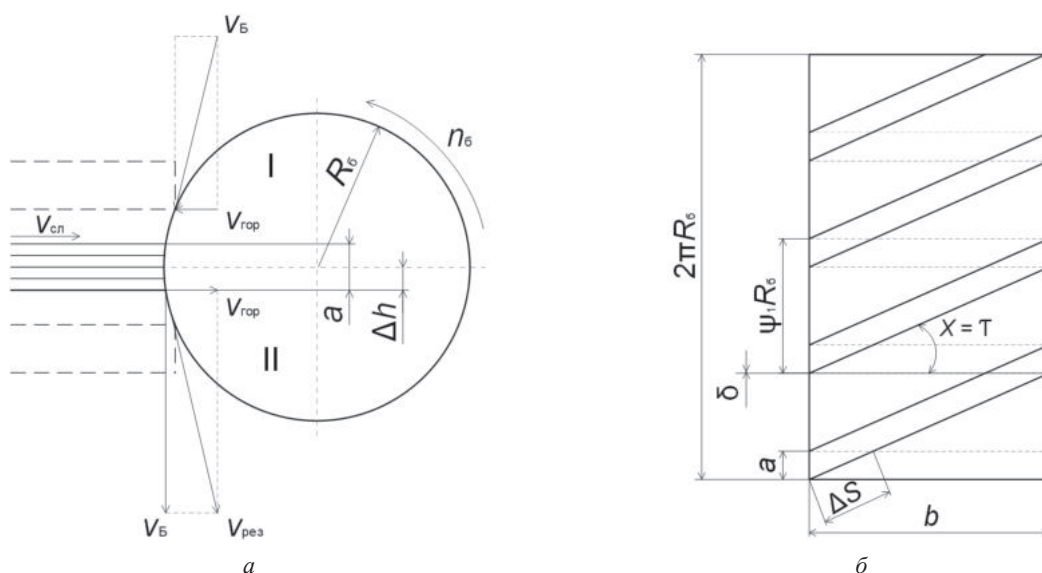


Рисунок 3 – Схема к расчету рабочего органа измельчающего аппарата: а – схема к обоснованию высоты расположения оси ножевого барабана над противорежущей пластиной; б – диаграмма усилий резания барабана при величине интервала между лезвиями последующих ножей  $\delta = 0$



При встрече во II квадранте лезвие будет способствовать втягиванию слоя в зазор режущей пары, обеспечивая этим более благоприятные условия работы измельчающего аппарата. Следовательно, подача материала к ножу должна осуществляться во II квадранте ножевого барабана и именно около горизонтальной оси ножевого барабана, так как далее его результирующая скорость будет направлена почти вдоль слоя и условия рабочего процесса будут нарушены. В связи с этим горловину в измельчающем аппарате необходимо делать небольшой высоты, и материал в ножевой барабан подавать тонким слоем.

На характер изменения общей диаграммы усилий резания ножевого барабана оказывает существенное влияние взаимное расположение ножей на ножевом барабане [12]. В зависимости от расположения ножей и угла их наклона резание барабаном может быть прерывистым или непрерывным. Непрерывное резание, в свою очередь, может быть с переменным или постоянным усилием резания. Характер резания зависит от суммарной длины лезвий, участвующих в работе в каждый момент. Наиболее рациональной работа измельчающего аппарата, очевидно, будет при непрерывном резании и с постоянным усилием [12].

Как видно из общей диаграммы, приведенной в работе, активная длина лезвия в начале увеличивается, затем остается постоянной и к концу отрезания уменьшается до нуля. В соответствии с этим изменяется и нагрузка на вал ножевого барабана. Чтобы нагрузка на вал была равномерной, необходимо, чтобы по мере уменьшения активной длины одного лезвия настолько же увеличивалась длина следующего. Это произойдет, если начало лезвия последующего ножа будет установлено без зазора и перекрытия конца лезвия предыдущего. Для обеспечения этого условия необходимо, чтобы ножи в барабанном режущем аппарате устанавливались с перекрытием на величину  $a$  (рисунок 3, б).

Теоретическая производительность ножевого барабана определяется по формуле:

$$Q_m = a_{\max} b_r l_{\text{расч}} \rho_c z n_6,$$

где  $a_{\max}$  – максимально допустимая толщина подаваемого в ножевой барабан слоя растительного материала, мм;  $b_r$  – ширина загрузочной горловины, равная ширине ножевого барабана, мм;  $l_{\text{расч}}$  – расчетная длина резки, мм.

$$l_{\text{расч}} = \frac{v_{\text{сл}} \cdot 60\,000}{z n_6}, \quad (1)$$

где  $n_6$  – частота вращения ножевого барабана,  $\text{мин}^{-1}$ .

В современных режущих аппаратах частоту вращения барабана обычно принимают в пределах от 800 до 1 500  $\text{мин}^{-1}$ , расчетная длина резки соответствует степени измельчения растительных остатков:

$$v_{\text{сл}} = \frac{\pi d_{\text{пв}} n_{\text{пв}}}{60} \eta,$$

где  $d_{\text{пв}}$  – диаметр подающего вальца, мм;  $n_{\text{пв}}$  – частота вращения подающего вальца,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $\eta$  – коэффициент пробуксовывания растительного материала,  $\eta = 0,87$ ,  $\rho_c$  – плотность растительного материала на входе горловины,  $\text{кг/м}^3$ .

По результатам проведенных экспериментальных исследований значения плотности слоя равны:

- для соломы  $\rho_c = 120\text{--}160 \text{ кг/м}^3$ ;
- для зеленой массы  $\rho_c = 350\text{--}500 \text{ кг/м}^3$ .
- $z$  – количество ножей на барабане, шт.

При известной длине резки частиц растительных остатков из формулы (1) можно определить число ножей ножевого барабана:

$$z = \frac{v_{\text{сл}} \cdot 60\,000}{n_6 l_{\text{расч}}}.$$

Во всех случаях полученное по данному выражению количество ножей округляют до целого числа и, как правило, берут четным, так как при замене ножа, вышедшего из строя, или при необ-

ходимости изменить их количество, снимая противоположный парный нож, можно уравновесить ножевой барабан.

Фактическая производительность составляет 50–70 % от теоретической:

$$Q_n = (0,5 - 0,7)Q_m.$$

Диаметр ножевого барабана определяется по формуле:

$$D_6 = z \frac{L_6 \operatorname{tg} \tau + \delta}{\pi},$$

где  $\delta$  – величина интервала между лезвиями последующих ножей, мм,  $\delta = 0$ ;  $\tau$  – угол скольжения ножа, град. (в ножевом барабане равный углу защемления материала  $\chi$ ).

Ширина ножевого барабана может быть определена по формуле:

$$L_6 = \frac{\varphi_{\text{закр}} D_6}{2 \operatorname{tg} \tau},$$

где  $\varphi_{\text{закр}}$  – угол закручивания ножа, рад.

Ширина ножевого барабана должна удовлетворять условию:

$$\varphi_{\text{закр}} = \frac{L_6^2 \operatorname{tg} \tau}{D_6} < 1,57.$$

Величина расположения оси ножевого барабана над противорежущей пластиной определяется по формуле:

$$\Delta h = \frac{D_6 v_{\text{сл}}}{2 v_6},$$

где  $D_6$  – диаметр режущего барабана, мм;  $v_{\text{сл}}$  – скорость подачи слоя измельчаемого растительного материала, м/с;  $v_6$  – окружная скорость режущего барабана, м/с.

$$v_6 = \frac{\pi D_6 n_6}{60},$$

Толщину слоя растительного материала, как и высоту загрузочной горловины выбирают, исходя из условия наиболее выгодного резания. Чем тоньше слой, тем меньше удельная работа, необходимая для его перерезания, и, следовательно, рациональнее резание. Барабанный измельчающий аппарат, благодаря возможности применения широкой горловины без конструктивных усложнений машины позволяет осуществлять тонкослойное резание.

Предельная высота загрузочной горловины на практике определяется по формуле:

$$h_{\text{max}} = 0,25 D_6.$$

Задавшись конкретными значениями, определили по приведенным выше формулам конструктивно-технологические параметры устройства для подбора и измельчения органических отходов тепличного производства. Результаты расчетов приведены в таблице.

#### Основные конструктивные параметры устройства для подбора и измельчения органических отходов тепличного производства

Наименование показателя	Значение
Скорость слоя измельчаемого растительного материала, $v_{\text{сл}}$ , м/с, не более	1,4
Ширина транспортировочного полотна, $b_{\text{тп}}$ , мм, не более	600
Длина транспортировочного полотна, $l_{\text{тп}}$ , мм	2 000
Ширина загрузочной горловины, $b_{\text{г}}$ , мм	500
Высота загрузочной горловины, $h_{\text{г}}$ , мм	100
Частота вращения шнека, $n_{\text{ш}}$ , мин <sup>-1</sup>	180
Диаметр шнека со встречной навивкой, $d_{\text{ш}}$ , мм	300

Наименование показателя	Значение
Ширина шнека со встречной навивкой, $b_{ш}$ , мм	600
Частота вращения режущего барабана, $n_6$ , мин <sup>-1</sup>	800
Диаметр ножевого барабана, $D_6$ , мм	400
Ширина ножевого барабана, $B_6$ , мм	500
Количество ножей, $z$ , шт	2
Угол заточки ножа, $\gamma_1$ , °	17
Острота лезвия, $\delta_0$ , мкм	30
Ширина стачиваемой части лезвия, $\Delta$ , мкм	375
Зазор режущей пары, $\delta$ , мм	3,05
Угол защемления материала, $\chi$ , °	27
Угол скольжения ножа, $\tau$ , °	23,5

### Заключение

В результате проведенных исследований получены следующие результаты:

- обоснована конструктивно-технологическая схема устройства для подбора и измельчения органических отходов тепличного производства, состоящая из двух основных узлов: питающего и измельчающего аппаратов;
- обоснована конструкция рабочего органа измельчающего аппарата, в качестве которого принят односекционный ножевой барабан с расположенными наклонно прямолинейными ножами;
- обоснованы основные конструктивные параметры устройства для подбора и измельчения органических отходов тепличного производства.

### Список использованных источников

1. Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. – Минск, 2007–2025. – URL: [https://mshp.gov.by/ru/protokol\\_progl-ru](https://mshp.gov.by/ru/protokol_progl-ru) (дата обращения: 16.11.2024).
2. Новости сельского хозяйства. – Минск. 2007–2025. – URL: <https://www.infobaza.by/agriculture/11021.html> (дата обращения: 10.11.2024).
3. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [сайт]. – Минск, 1998–2025. – URL: [https://www.belstat.gov.by/o-belstate\\_2/novosti-imeropriyatiya/novosti/o\\_proizvodstve\\_selskokhozyaystvennoy\\_produktsii\\_v\\_2024\\_godu/](https://www.belstat.gov.by/o-belstate_2/novosti-imeropriyatiya/novosti/o_proizvodstve_selskokhozyaystvennoy_produktsii_v_2024_godu/) (дата обращения: 18.12.2024).
4. НТП 10-95 «Нормы проектирования теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады». – Введ. 01.07.1996. – М. : Ротапринт Гипронисельпром, 1999. – 62 с.
5. Крамаренко, Л. П. Сопротивление растений перерезанию / Л. П. Крамаренко // Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин ; под общ. ред. В. П. Горячкина. – М. : Сельхозгиз, 1936. – Т. 2. – 536 с.
6. Мельников, С. В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм / С. В. Мельников – Л. : Колос, Ленинград. отделение, 1978. – 560 с.
7. Романович, А. А. Оптимизация параметров и режимов работы машин и оборудования в животноводстве : учеб. пособие / А. А. Романович, И. И. Скорб. – Минск : БГАТУ, 2020. – 132 с.
8. Сегменты, пластины противорежущие и полосы ножевые режущих аппаратов сельскохозяйственных машин. Технические условия : ГОСТ 158-74 ; введ. 01.01.1975. – М. : Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР, 1975. – 12 с.
9. Пальцы режущих аппаратов сельскохозяйственных машин. Технические условия : ГОСТ 19777-74 ; введ. 01.01.1975. – М. : Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР, 1975. – 19 с.
10. Резник, Н. Е. Силосоуборочные комбайны: теория и расчет / Н. Е. Резник – М. : Машиностроение, 1964. – 446 с.
11. Рустамов, С. И. Физико-механические свойства растений и совершенствование режущих аппаратов уборочных машин / С. И. Рустамов. – Донецк : Вища школа, 1981. – 172 с.
12. Резник, Н. Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов / Н. Е. Резник. – М. : Машиностроение, 1975. – 311 с.

Э. В. Дыба<sup>1</sup>, П. В. Яровенко,<sup>1</sup>  
Л. И. Трофимович<sup>1</sup>, А. И. Пунько<sup>2</sup>, А. Ю. Гордиевич<sup>2</sup>, Е. А. Рацкевич<sup>2</sup>

<sup>1</sup>РУП «НППЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: dibua-18@mail.ru, trofimovich88@mail.ru

<sup>2</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

## ОБЗОР И АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ УСТРОЙСТВ ДЛЯ СНЯТИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЗАПРЕССОВАННЫХ КОРМОВ

*Аннотация.* В статье представлены результаты обзора и анализа конструкций существующих устройств, применяемых для снятия полимерных материалов с запresseованных кормов в нашей стране и за рубежом.

*Ключевые слова:* анализ, резчик кормов, рабочие органы, полимерная пленка, конструкция.

E. V. Dyba<sup>1</sup>, P. V. Yarovenko<sup>1</sup>, L. I. Trofimovich<sup>1</sup>, A. I. Punko<sup>2</sup>, A. Yu. Gordievich<sup>2</sup>, E. A. Ratskevich<sup>2</sup>

<sup>1</sup>RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: dibua-18@mail.ru, trofimovich88@mail.ru

<sup>2</sup>EI "Belarusian State Agrarian Technical University"

Minsk, Republic of Belarus

## REVIEW AND ANALYSIS OF DEVICE DESIGNS FOR REMOVING POLYMER MATERIALS FROM PRESSED FEED

*Abstract.* The article presents the results of a review of modern feed procurement technologies and an analysis of the designs of existing devices used for removing polymer materials from pressed feed in our country and abroad.

*Keywords:* analysis, feed cutter, working parts, polymer film, design.

### Введение

Основным требованием, предъявляемым к современным технологиям заготовки кормов, является обеспечение минимальных потерь питательных веществ. При существующей технологии заготовки и хранения кормов из трав и силосных культур потери питательных веществ достигают 35–40 %. Недобор последних происходит не только из-за несоблюдения оптимальных сроков уборки трав, но и вследствие значительных потерь в процессе хранения кормов. В хозяйствах республики ежегодно заготавливается более 25 млн т кормов в виде сенажа, силоса из провяленных трав и силосных культур. Массовое распространение получил сенаж. Качественный корм этого вида приготавливают при строгом соблюдении технологии заготовки: провяливание до влажности 50–55 %, уплотнение до плотности не менее 600 кг/м<sup>3</sup>, экспозиция загрузки хранилища не более 2–3 дней и герметизация корма.

Анализ материалов, опубликованных в отечественной и зарубежной научно-технической литературе, показывает, что создание конкурентоспособной, высокопроизводительной и надежной техники, которая обеспечивает высококачественное выполнение технологических операций, позволяет снизить расход топлива и других ресурсов на единицу производимой продукции и сократить все виды потерь, является одним из приоритетных направлений аграрной науки.

В нашей стране существенный вклад в развитие новых технологий и средств механизации в растениеводстве и кормозаготовке внесли такие ученые, как И. И. Пиуновский, И. М. Лабоч-

кий, С. И. Станкевич, А. В. Клочков, Ф. И. Привалов и др. Результаты их теоретических и экспериментальных исследований легли в основу современных машин для кормозаготовки, рекомендаций, применяемых на практике, а также различных нормативных документов [1–6].

В ходе выполнения нового научного задания 6.18 «Теоретическое обоснование инженерных решений по разработке устройства для снятия полимерных материалов с запрессованных кормов» в рамках ГПНИ «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность» заказчиком проекта поставлены определенные конструктивно-технологические требования к новой машине: высокая эффективность, низкая металлоемкость, технологичность изготовления. При этом технический уровень разработки должен соответствовать лучшим мировым образцам.

Целью данной работы является научное обоснование совершенствования технологического процесса подготовки к скармливанию запрессованных кормов путем механизации операции снятия полимерных материалов.

### Основная часть

В последние годы разработаны и применяются новые методы закладки на хранение растительной массы, предварительно спрессованной до заданной плотности, с герметизацией специальными полимерными материалами. Известно несколько способов реализации этой технологии. В первом случае в крупных хозяйствах используется упаковка рулонов или тюков в полимерный рукав длиной 45–65 м с использованием мобильных линейных упаковщиков, например NEOLINER NWS 660 фирмы «Навигатор» (Россия). Однако в Республике Беларусь наибольшее распространение получила технология провяливания и прессования растительной массы в рулоны с помощью стандартных пресс-подборщиков и дальнейшей герметизации путем обмотки стрейч-пленкой на специальных машинах-обмотчиках. Упакованные подобным способом тюки и рулоны складываются под навесом или на открытой площадке и хранятся так до момента использования на корм КРС. Данная технология является весьма эффективной и позволяет заготавливать корма высокого качества.

Промышленные предприятия Республики Беларусь освоили производство рулонных пресс-подборщиков, обмотчиков рулонов в стрейч-пленку и пресс-подборщиков-упаковщиков рулонов.

В соответствии с Программным комплексом мер по развитию кормопроизводства на 2021–2025 гг. предусматривается к 2025 г. обеспечить заготовку травяных кормов с использованием полимерных материалов сельскохозяйственного назначения (стрейч-пленки) в объеме 1090,0 тыс. т [7]. Производство отечественной стрейч-пленки сельскохозяйственного назначения освоили ОАО «Могилевский завод искусственного волокна» и ОАО «Борисовский завод пластмассовых изделий».

Стрейч-пленка относится к материалам, подлежащим вторичной переработке. В зарубежных странах новые упаковочные материалы продаются при условии сдачи использованных упаковочных материалов в объеме до 70 % от объема вновь закупаемых. Такой порядок использования упаковочных материалов позволяет снизить стоимость их производства, решает проблемы утилизации полимерных материалов и уменьшает риск их попадания в корм животным.

Технология прессования и упаковки силоса в круглые тюки практична. Однако при загрузке спрессованных кормов в бункер кормосмесителя или на кормовой стол возникает проблема с механизированным снятием сетки с круглых тюков для дальнейшей ее утилизации. Остатки корма попадают в сетку, поэтому ее необходимо утилизировать отдельно от упаковочной пленки. Машин для отделения упаковочных материалов в Республике Беларусь не выпускается. Отрезание упаковочных материалов вручную ножом требует вспомогательного рабочего на погрузочных работах.

Зарубежные производители освоили производство машин, позволяющих производить отделение упаковочных полимерных материалов в процессе погрузки рулонов в кормораздатчики [8]. Известны резчики кормов фирмы Stoll, Bressel und Lade Maschinenbau GmbH, Tanco, и др. Вышеперечисленные машины (рисунки 1 и 2) представляют собой сельскохозяйственные вилы, оснащенные ножом и гидрофицированным захватом упаковочных материалов.





Рисунок 1 – Резчик фирмы Stoll



Рисунок 2 – Резчик фирмы Bressol und Lade Maschinenball GmbH

Технологический процесс работы машин следующий: при накалывании тюка происходит зажим полимерных упаковочных материалов гидрофицированным захватом, надрезание упаковочных материалов в верхней части рулона и зажим тюка ножом. Производится транспортирование тюка к месту разгрузки. В месте разгрузки происходит резание тюка ножом и удаление упаковочных материалов.

Основное назначение данных резчиков кормов – разрезание рулонов сенажа, отделение упаковки и выгрузка кормов на площадке, например, в кормовом проходе животноводческих ферм малого размера.

При использовании данных резчиков на крупных животноводческих фермах, где кормление животных выполняется кормораздатчиками, такие устройства необходимо использовать с телескопическими погрузчиками (рисунок 3, а), так как у обычных фронтальных погрузчиков недостаточная высота подъема рабочих органов, для исключения попадания упаковочных материалов в кормораздатчик или работать по перевалочной схеме: сначала на вспомогательной площадке отделить упаковку, а затем погрузить корм из рулона без упаковки (рисунок 3, б) в кормораздатчик. Производительность погрузчика при работе по перевалочной схеме снижается в 2–3 раза.

В резчиках рулонов держатели упаковочных материалов могут быть различных исполнений:

- в виде простых плоских зажимов (рисунок 4);
- в виде зажимов со штырями (рисунок 5);
- в виде крючковых держателей с убирающимися захватами (рисунок 6);
- в виде крючковых держателей со сдвоенными захватами (рисунок 7).



а



б

Рисунок 3 – Выгрузка сенажа из рулона на вспомогательной площадке (а) с последующей погрузкой без упаковки в кормораздатчик (б)



Рисунок 4 – Простой зажимной захват полимерной упаковки резчика фирмы Tanco (Ирландия)

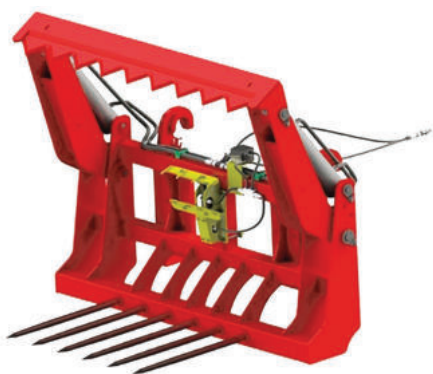


Рисунок 5 – Резчик рулонов с захватом упаковки со штырями



Рисунок 6 – Резчик рулонов 5FT (Cashels Engineering Ltd)

Резчики рулонов моделей 4FT и 5FT фирмы Cashels Engineering Ltd (Ирландия) оборудованы убирающимися гидрофицированными крючковыми захватами полимерной упаковки (рисунок 6).

Резчики фирмы GÖWEIL (Австрия) со сдвоенными крючковыми захватами удерживают как упаковку из стрейч-пленки, так и обмотку рулонов из шпагата или сетки без пленки (рисунок 7).

Все вышеперечисленные резчики рулонов относятся к устройствам с резанием рулонов сверху вниз. Преимущества таких устройств – относительно небольшой вес ( $450 \pm 50$  кг) и простота конструкции.

В Германии проведены испытания двух распространенных резчиков рулонов с резанием рулонов сверху вниз: фирм Göweil и Tanco [9]. Оба резчика хорошо справляются с разделкой рулонов на кормовом проходе. Для обеспечения полноты выгрузки корма из упаковки необходимо при опускании ножа в нижнее положение проехать погрузчиком немного вперед по проходу и выгрузить корм из передней части рулона, а затем поднять нож в верхнее положение, поднять резчик немного вверх и выгрузить корм из задней части рулона. По результатам испытаний установлено, что резчик фирмы GÖWEIL с крючковым захватом оставляет в полимерной упаковке значительно больше корма, чем простой захват резчика фирмы Tanco. При загрузке рулонов в кормораздатчики возникала проблема попадания упаковки в кузов кормораздатчиков (рисунок 8). Недостатками резчиков рулонов с резанием рулонов сверху вниз также являются повышенная нагрузка на зубья в процессе резания корма и большая вероятность повреждения ножей о кормовой стол или бункер кормораздатчика.

Представляет интерес конструкция резчика-распаковщика рулонов фирмы Keltec (Ирландия) (рисунок 9). Рама этой машины имеет Г-образную форму. Резание рулона происходит при движении ножа не сверху вниз, а снизу вверх с упором рулона не в зубья вил, а в мощную раму.





Рисунок 7 – Двойной крючковый захват полимерной упаковки резчика фирмы GÖWEIL



Рисунок 8 – Попадание упаковки рулона в бункер кормораздатчика



Рисунок 9 – Резчик-распаковщик рулонов (Keltec, Ирландия)

Привод рабочих органов (ножа и зажимного захвата) осуществляется от одной гидравлической линии. Запатентованная конструкция резчика рулонов захватывает и удерживает обмотку и сетку рулона в верхней части устройства и разрезает снизу, что уменьшает вероятность попадания полимерных материалов в кормораздатчик. После того, как рулон разрезан, сенаж выпадает и отделяется от пленки и сетки без остатка.

Для загрузки рулонов в кормораздатчик достаточно простого фронтального погрузчика, нагрузка на пальцы вил минимальна.

Во Франции фирма MANIP' освоила производство резчиков MANIP' BAL CB125 и CB150 для рулонов диаметром 1 250 мм и 1 500 мм соответственно (рисунок 10), которые являются близкими аналогами резчиков-распаковщиков рулонов Keltec.

В Канаде фирма HLA Attachments освоила выпуск резчиков рулонов моделей: ВК-48 для рулонов диаметром до 48 дюймов; ВК-60 – до 60 дюймов и ВК-72 – до 72 дюймов, которые выполняют захват и резку рулона ножом снизу вверх (рисунок 11).

В процессе резания зубья устройства не воспринимают нагрузку от резака. Сегменты ножей крепятся болтами и могут быть заменены по отдельности, замена всего ножа не требуется. Наибольший интерес представляет конструкция резчика рулонов ВК-72, так как он оборудован переставным упором, позволяющим работать с рулонами различных диаметров [10].

Таким образом, недостатками резчиков рулонов с резанием рулонов сверху вниз является повышенная нагрузка на зубья в процессе резания корма и большая вероятность повреждения ножей о кормовой стол или детали кормораздатчика. Резчикам рулонов с рамой Г-образной формы для загрузки рулонов в кормораздатчик достаточно простого фронтального погрузчика, резание рулона происходит при движении ножа не сверху вниз, а снизу вверх с упором рулона не в зубья вила, а в мощную раму, нагрузка на пальцы вила минимальна.



Рисунок 10 – Резчик рулонов фирмы MANIP' (Франция)



Рисунок 11 – Резчик рулонов BK-60 HLA Attachments (Канада)

Анализ существующих разработок показал, что при разработке отечественной машины для обеспечения высокого технического уровня, конкурентоспособности и долговечности устройства необходимо максимально использовать апробированные технические решения, рабочие органы, технологически отработанные узлы и агрегаты отечественного производства, используемые в серийно выпускаемой продукции, а также отдельные узлы, агрегаты и комплектующие изделия зарубежного производства.

Разрабатываемое устройство в виде сменного рабочего органа будет навешиваться на широко распространенные в хозяйствах республики отечественные погрузчики «АМКОДОР». Для обеспечения требуемых технических и эксплуатационных характеристик, технологических возможностей необходимо проведение НИОКР по обоснованию основных конструктивных и кинематических параметров нового рабочего органа устройства для снятия полимерных материалов с запрессованных кормов.

### Заключение

Проведенный анализ технологий заготовки, хранения и скармливания кормов, в частности сенажа, показал, что в республике отсутствуют машины для механизированного снятия упаковочной пленки с рулонов кормов перед их использованием.

Анализ конструкций зарубежных машин для снятия полимерных материалов с запрессованных кормов определил два направления устройств: с резанием рулона сверху вниз и с рамой Г-образной формы с резанием рулона снизу вверх.

Проводимые НИР, полученные результаты исследований, технические требования и рекомендации по применению данных устройств для снятия полимерных материалов с запрессованных кормов будут использованы при разработке новой машины для кормоприготовления.

### Список использованных источников

1. Пиуновский, И. И. Машины для уборки трав и силосных культур (теория и расчет рабочих органов) / И. И. Пиуновский, В. Р. Петровец, Н. И. Дудко. – Горки : БГСХА, 2016. – 325 с.
2. Механизация полевой сушки трав: пути совершенствования / П. П. Казакевич, С. Г. Яковчик, И. М. Лабодский, Л. И. Трофимович // Весці НАН Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2018. – Т. 56, № 4. – С. 481–491.
3. Станкевич, С. И. Современные технологии заготовки кормов: рекомендации / С. И. Станкевич, С. И. Холдеев. – Горки : БГСХА, 2016. – 29 с.
4. Клочков, А. В. Заготовка кормов зарубежными машинами / А. В. Клочков, В. А. Попов, А. В. Адашь. – Горки : 2001. – 201 с.

5. Особенности технологий и техническое обеспечение заготовки кормов из трав и силосных культур: рекомендации: официальный сайт предприятия РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2018–2024. – URL: <https://belagromech.by/news/osobennosti-tehnologij-i-tehnicheskoe-obespechenie-zagotovki-kormov-iz-trav-i-silosnyh-kultur/> (дата обращения: 04.10.2024).

6. Технологический регламент, техническое обеспечение и технологические карты выращивания и заготовки кормов из трав: регламент // Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, РУП «НПЦ НАН Беларуси по земледелию», РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству», РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», РНДУП «Институт мелиорации». – Минск, 2011.

7. Программный комплекс мер по развитию кормопроизводства на 2021–2025 годы : утв. заместителем Премьер-министра Республики Беларусь от 16 марта 2021 г. № 06/217-261/220.

8. Устойчивые сельскохозяйственные технологии: официальный сайт электронной версии журнала «Agraheut». – 2024. – URL: <https://www.agrarheute.com/technik/gruenland-technik/rundballennetz-zusammen-folie-entsorgen-endlich-loesung-gefunden-301> (дата обращения: 04.10.2024).

9. Практический тест использования щипцов для круглых тюков: официальный сайт электронной версии журнала «FORTSCHRITTISCH ES LANDWIRT». – 2024. – URL: <https://www.landwirt.com> (дата обращения: 05.10.2024).

10. Резчик рулонов BK-72: сайт компании HLA Attachments. – 2024. – URL: <https://hlaattachments.com/item.php?prod=301> (дата обращения: 10.10.2024).



Э. В. Дыба<sup>1</sup>, П. В. Яровенко<sup>1</sup>, Л. И. Трофимович<sup>1</sup>, А. И. Пунько<sup>2</sup>,  
А. Ю. Гордиевич<sup>2</sup>, Е. А. Рацкевич<sup>2</sup>

<sup>1</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: [dibua-18@mail.ru](mailto:dibua-18@mail.ru); [trofimovich88@mail.ru](mailto:trofimovich88@mail.ru)

<sup>2</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

## ОБОСНОВАНИЕ И РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СНЯТИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЗАПРЕССОВАННЫХ КОРМОВ

**Аннотация.** В статье представлены результаты теоретических исследований по обоснованию конструкции и технологических параметров резчика кормов. Анализ тенденций развития конструкций машин и научного опыта в области механизированной раздачи прессованных кормов позволил разработать устройство, обеспечивающее отделение упаковочных полимерных материалов в процессе подготовки и раздачи корма.

**Ключевые слова:** анализ, резчик кормов, рабочие органы, захват, полимерная пленка, конструкция.

E. V. Dyba<sup>1</sup>, P. V. Yarovenko<sup>1</sup>, L. I. Trofimovich<sup>1</sup>, A. I. Punko<sup>2</sup>,  
A. Yu. Gordievich<sup>2</sup>, E. A. Ratskevich<sup>2</sup>

<sup>1</sup> RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: [dibua@mail.ru](mailto:dibua@mail.ru); [trofimovich88mail.ru](mailto:trofimovich88mail.ru)

<sup>2</sup> EI “Belarusian State Agrarian Technical University”

Minsk, Republic of Belarus

## THEORETICAL PREREQUISITES FOR CALCULATING THE DEVICE DESIGN FOR REMOVING POLYMERIC MATERIALS FROM PRESSED FEED

**Abstract.** The article presents the results of theoretical studies to substantiate the design and technological parameters of a feed cutter. An analysis of trends in the development of machine designs and scientific experience in the field of mechanized distribution of pressed feed allowed us to develop the design of a device that ensures the separation of packaging polymer materials during the preparation and distribution of feed.

**Keywords:** analysis, feed cutter, working parts, polymer film, design.

### Введение

В последние годы для решения проблемы отделения полимерных материалов от кормов за рубежом проводятся научные исследования, направленные на освоение в производстве машин и оборудования, позволяющих производить отделение упаковочных полимерных материалов в процессе погрузки рулонов в кормораздатчики.

В нашей стране существенный вклад в развитие новых технологий и средств механизации в растениеводстве и кормозаготовке внесли такие ученые, как И. И. Пиуновский, И. М. Лабоцкий, С. И. Станкевич, А. В. Клочков, Ф. И. Привалов и др. Результаты их теоретических и экспериментальных исследований легли в основу конструирования современных машин для кормозаготовки, рекомендаций, применяемых на практике, а также различных нормативных документов [1–6].

Однако остаются нерешенными вопросы, связанные с усовершенствованием технологии подготовки к скармливанию рулонов сенажа в запрессованном виде и научным обоснованием конструкции и технологических параметров технического средства, обеспечивающего отделение упаковочных полимерных материалов в процессе подготовки и раздачи корма.

В ходе выполнения НИР 1 задания 6.18 «Теоретическое обоснование инженерных решений по разработке устройства для снятия полимерных материалов с запрессованных кормов» ГПНИ «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность», 2021–2025 гг. заказчиком проекта поставлены определенные конструктивно-технологические требования к новой машине: высокая эффективность, низкая металлоемкость, технологичность изготовления. При этом технический уровень разработки должен соответствовать лучшим мировым образцам.

Целью работы является научное обоснование совершенствования технологического процесса подготовки к скармливанию запрессованных кормов путем механизации операции снятия полимерных материалов.

### Основная часть

Для обоснования конструктивно-кинематических параметров разрабатываемого устройства рассмотрим обобщенную конструкцию резчика рулонов с устройством для снятия полимерных материалов с учетом ограничивающих конструктивно-технологических факторов (рисунок 1).

Размер зева резчика рулонов  $A$  определяется исходя из максимального размера рулонов, используемых в хозяйствах республики ( $D_{\max} = 1,8$  м), с учетом эллипсности рулонов:

$$A \geq 1,2D_{\max} = 2,16 \text{ м.} \quad (1)$$

Принимаем размер  $A = 2,1$  м.

Длина зубьев  $L$  составляет примерно половину максимального диаметра разрезаемых рулонов:

$$L = 0,5D_{\max} = 0,9 \text{ м.} \quad (2)$$

Принимаем размер  $L = 0,9$  м.

Радиус резака составляет примерно:

$$R = (0,9 / 1,1)D_{\max} = 1,62 / 1,98 \text{ м.} \quad (3)$$

Принимаем размер  $R = 1,7$  м.

Ножи резчика рулонов не должны соприкасаться с зубьями и рамой резака при разрезании рулона. Положение переставного упора определяется исходя из размеров минимального (1,2 м) и максимального (1,8 м) диаметров разрезаемых рулонов.

Разрезание верхних слоев рулона является наиболее сложной операцией приготовления рулона к скармливанию. В процессе формирования рулона давление сжатия прикладывается к его внешней стороне, поэтому приращение плотности корма в рулоне уменьшается по мере удаления от внешних слоев к внутренним. При работе рулонного пресс-подборщика стебли прессованных растений ориентированы преимущественно по окружностям поперечного сечения рулона, параллельно его торцевой поверхности.

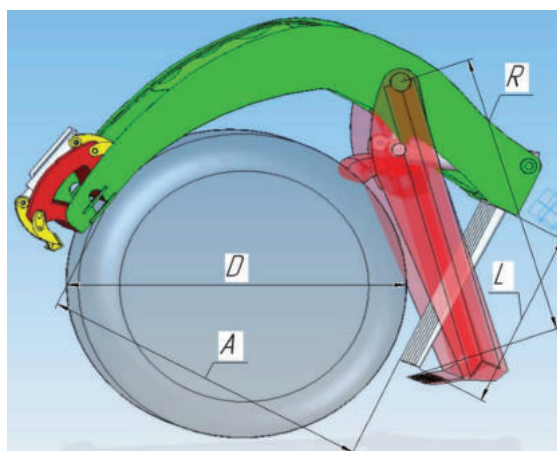


Рисунок 1 – Схема резчика рулонов с устройством для снятия полимерных материалов с запрессованных кормов

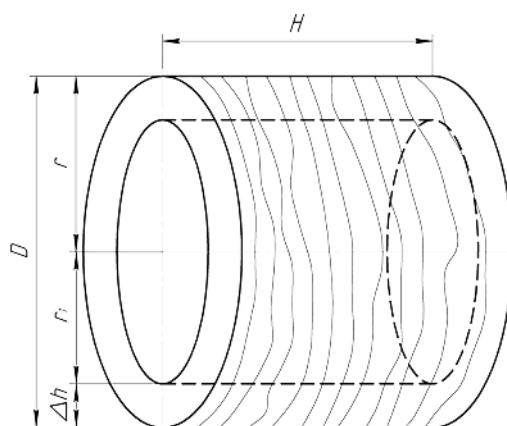


Рисунок 2 – Схема геометрических параметров рулона

Процесс резания рулонов сенажа повышенной плотности, упакованных в полимерную пленку, наиболее полно исследовался В. Ю. Гальковым [7]. В своих исследованиях он предположил, что разрезание рулона на определенную глубину по всей его длине позволит с наименьшими затратами энергии отделить от рулона внешний слой массы толщиной  $\Delta h$ , равной глубине резания (рисунок 2).

Основой теоретических исследований процесса взаимодействия режущего элемента с кормовым массивом В. И. Гальковым была принята теория резания лезвием, разработанная профессором Н. Е. Резником. При разрезании рулонов сенажа, упакованного в пленку, силы, препятствующие процессу резания и перемещению рулона по направляющим (рисунок 3), определяются согласно выражению:

$$F_{\text{спр}} = F_{\text{рез}} + F_{\text{сж}} + F_{\text{обж}}^{\phi} + F_{\text{тр}}^{\phi} + F_{\text{тр}}^{r1} + F_{\text{тр}}^{r2} + F_{\text{тр}}^{\text{н}}, \quad (4)$$

где  $F_{\text{рез}}$  – сила сопротивления резанию, сосредоточенная на кромке лезвия, Н;  $F_{\text{сж}}$  – сопротивление слоя сжатию фаской лезвия, Н;  $F_{\text{обж}}^{\phi}$  – сила обжатия фаски лезвия, Н;  $F_{\text{тр}}^{\phi}$  – сила трения на фаске лезвия под действием силы обжатия фаски, Н;  $F_{\text{тр}}^{r1}$ ,  $F_{\text{тр}}^{r2}$  – силы трения на боковых гранях ножа, возникающие под действием сил обжатия граней, Н;  $F_{\text{тр}}^{\text{н}}$  – силы трения поверхности рулона сенажа по направляющим разрезающего устройства, Н.

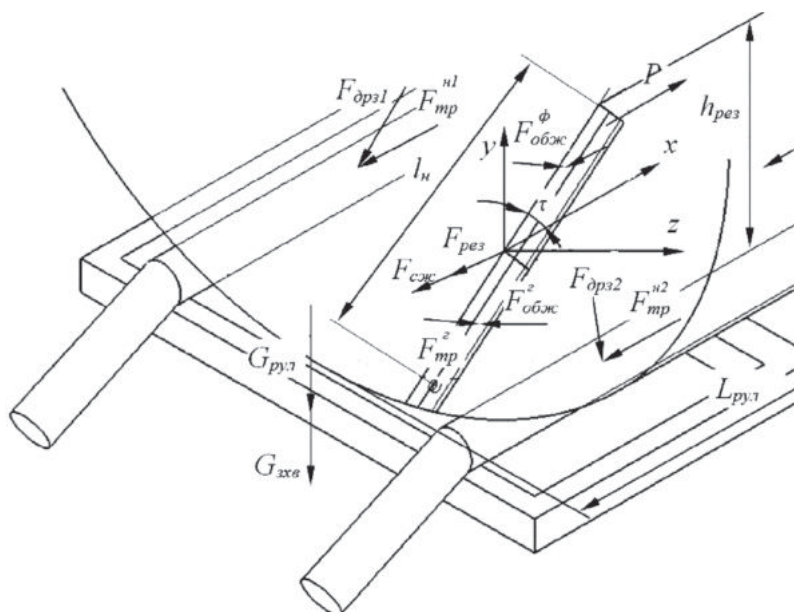


Рисунок 3 – Схема взаимодействия ножа с рулоном сенажа

В результате подстановки всех значений получено выражение, определяющее величину сопротивления резанию и перемещению по направляющим рулона сенажа, упакованного в пленку, в общем виде:

$$F_{\text{ср}} = \delta \sigma_p l_n \cos \tau + \frac{E h_{\text{сж}}^2 l_n}{2 h_{\text{рез}}} \left[ (\operatorname{tg} \beta + \mu + \mu f \cos \beta \sin \tau) \cos \tau + \mu f \sin \tau \right] + \\ + \left[ (m_{\text{рез}} + m_{\text{зхв}}) g - F_{\text{рез}} \operatorname{tg}(\tau - \varphi) \right] f_{\text{тр}}^{\text{уп}} (r + r_n) / c, \quad (5)$$

где  $\delta$  – толщина лезвия, м;  $\sigma_p$  – разрушающее контактное напряжение на кромке лезвия ножа, Па;  $l_n$  – длина ножа, м;  $\tau$  – угол наклона ножа (угол резания), град;  $E$  – модуль Юнга, Н/м<sup>2</sup>;  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $h_{\text{рез}}$  – толщина перерезаемого слоя (глубина резания) рулона, м;  $h_{\text{сж}}$  – величина предварительного сжатия материала, м;  $f$  – коэффициент трения материала о лезвие;  $\beta$  – угол заточки, град;  $c$  – высота треугольника, соединяющего центры рулона и направляющих, м.

В зависимости от установки ножа по отношению к разрезаемому рулону сенажа меняется длина активной части лезвия, участвующего в процессе резания. Длину лезвия ножа  $l_n$  можно определить согласно схеме (рисунок 3).

Длину ножа  $l$  в зависимости от угла наклона  $\tau$  можно определить из выражения:

$$l = \frac{h_{\text{рез}}}{\sin \tau}, \quad (6)$$

где  $h_{\text{рез}}$  – глубина резания рулона, м.

Согласно модели взаимодействия режущего элемента с кормовым массивом (в рулоне сенажа) удельная работа сил резания представлена выражением:

$$A_{\text{уд}} = F_{\text{ср}} \frac{L_{\text{рул}}}{S_{\text{рез}}}, \quad (7)$$

где  $A_{\text{уд}}$  – удельная работа резания, Дж/м<sup>2</sup>;  $F_{\text{ср}}$  – сила сопротивления резанию, Н;  $L_{\text{рул}}$  – длина образующей рулона (длина резания), м;  $S_{\text{рез}}$  – площадь резания, м<sup>2</sup>.

Площадь резания:

$$S_{\text{рез}} = L_{\text{рул}} h_{\text{рез}}, \quad (8)$$

$$h_{\text{рез}} = l_n \sin \tau, \quad (9)$$

где  $l_n$  – активная часть ножа, участвующая в резании, м.

Подставляя все значения, можно рассчитать значение удельной работы резания:

$$A_{\text{уд}} = \left[ \sigma_p l_n \cos \tau + \frac{E h_{\text{сж}}^2 l_n}{2 h_{\text{рез}}} \left[ \delta (\operatorname{tg} \beta + \mu + \mu f \cos \beta \sin \tau) \cos \tau + \right. \right. \\ \left. \left. + \mu f \sin \tau \right] + \left\{ (m_{\text{рез}} + m_{\text{схв}}) g - F_{\text{рез}} \operatorname{tg}(\tau - \varphi) \right\} f_{\text{тр}}^{\text{уп}} (r + r_n) / c \right] \frac{1}{l_n} \sin \tau. \quad (10)$$

Проведенные В. Ю. Гальковым исследования позволили определить энергетические параметры процесса резания кормового массива сенажа из рулонов влажностью от 40 % до 60 % и плотностью материала 120–180 кг/м<sup>3</sup> (в пересчете на сухое вещество) при углах резания от 25° до 55° и скорости резания 0,2–0,4 м/с, а также коэффициент трения  $f$  корма о боковую поверхность ножа в зависимости от физико-механических свойств материала (влажности  $W$  и плотности  $\rho$ ).

Анализ результатов позволяет сделать вывод, что наибольшую энергетическую эффективность обеспечивает резание рулона сенажа с установкой угла наклона ножа 37–43° к образующей цилиндрической поверхности рулона. Гидрооборудование разрабатываемого устройства для снятия полимерных материалов с запрессованных кормов должно обеспечивать усилие резания на кромке ножа в диапазоне 1 930–6 130 Н.

Устройство для снятия полимерных материалов должно функционировать от одной свободной линии гидросистемы погрузчика и включать механизм зажима упаковки в начальный мо-

мент резания рулона при давлении в гидросистеме, близком к максимальному, а открывать захват только после выгрузки корма в кормораздатчик, переезда агрегата к месту складирования упаковки и установки резака в исходное (нижнее) положение.

В Республике Беларусь корма заготавливаются в основном в виде рулонов, обмотанных полимерной сеткой, с применением пресс-подборщиков-обмотчиков «Торнадо» РППО 445.01, пресс-упаковщиков Krone Comprima CF 155XC, пресс-подборщиков комбинированных ПРП-160-1К. Также рулоны обматывают шпагатом и упаковывают полимерной пленкой обмотчиками рулонов типа ОР-2 (ОАО «Управляющая компания холдинга «БобруйскАгроМаш»), обмотчиками рулонов польского производства Z-577, Z-237, SIPMA OS 7521 MIRA и другими машинами. В разрабатываемом устройстве для отделения полимерной упаковки должна быть предусмотрена возможность работы с рулонами, обмотанными как сеткой, так и пропиленовым шпагатом.

Захваты зажимного типа используются для снятия полимерной упаковки с рулонов, обмотанных полимерной сеткой, но для рулонов, обмотанных шпагатом, не применяются, так как имеют небольшую ширину захвата 250–300 мм, а ширина обмотки шпагатом составляет 1 000–1 200 мм, шпагат может выпасть из полимерной упаковки и попасть в кормораздатчик.

Механизмы захвата и удержания полимерной упаковки в виде двойных крючковых захватов более универсальны, имеют ширину захвата от 1 000 мм и теоретически могут работать с рулонами, обмотанными как шпагатом, так и сеткой, однако опыта использования таких устройств с рулонами, обмотанными шпагатом, нет.

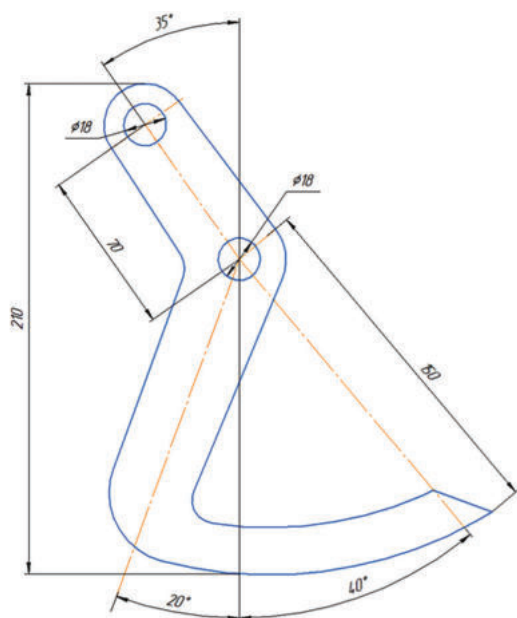


Рисунок 4 – Схема крючка

Изучение степени вдавливания шпагата в рулоны сенажа показало, что шпагат вжимается на глубину от 10 до 20 мм, поэтому для разработки универсального крючкового захвата принято решение ограничить глубину гарантированного внедрения зубьев крючкового захвата размером 25 мм. Суммарная рабочая ширина крючкового захвата должна быть не менее ширины намотки шпагата рулонов Ø1800 мм пресс-подборщика ПР-Ф-180–1 200 мм, а рабочую ширину одного крючка принимаем равной 150 мм, количество крючков в одном ряду – 4 шт., количество рядов – 2. Крючки одного из рядов должны вращаться по часовой стрелке, а другого – против часовой стрелки.

Схема крючка приведена на рисунке 4. Разработанный рабочий орган должен обеспечивать зону захвата упаковки на глубину 25 мм с шириной 150 мм.

Технологическая схема работы универсального крючкового захвата приведена на рисунке 5.

В положении 1 острые зубья крючков первого и второго ряда находятся на одной линии, перпендикулярно образующей рулона, и выступают на величину гарантированного внедрения зубьев 25 мм, рулон прижимается резаком к корпусу захвата. При подаче масла в гидроцилиндр захвата происходит поворот крючков 1-го и 2-го ряда, внедрение крючков в рулон и удержание упаковки на всей длине упаковки рулона. В процессе внедрения крючков разрыв полимерной пленки должен быть не сплошным, а местным, чтобы не произошло разрыва пленки и ее падения в кормораздатчик. В процессе работы захват должен удерживать полимерную упаковку из пленки и пропиленового шпагата или из пленки и сетки с минимальным захватом кормовой массы. Рабочая ширина разрабатываемого универсального крючкового захвата – 1 200 мм.

Разрабатываемое устройство для снятия полимерных материалов с запрессованных кормов должно устанавливаться на резчике рулонов, предназначенном для захвата и разрезания рулонов запрессованных кормов, загрузки их в кормораздатчик, а также выгрузки полимерной упаковки в месте складирования.



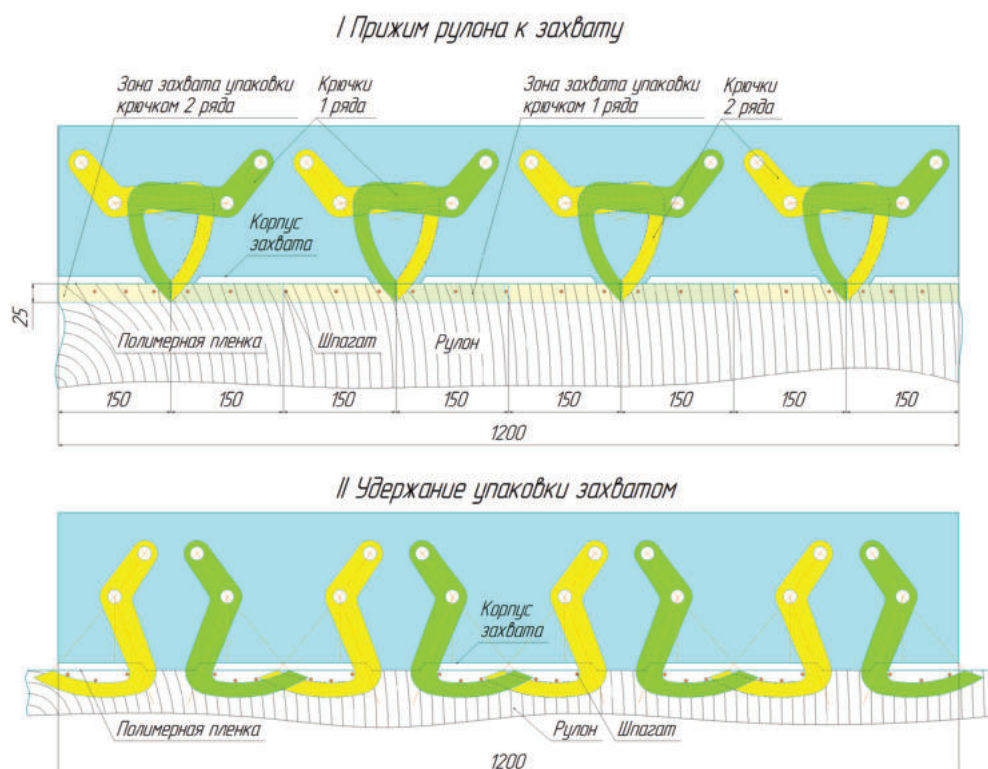


Рисунок 5 – Технологическая схема универсального захвата

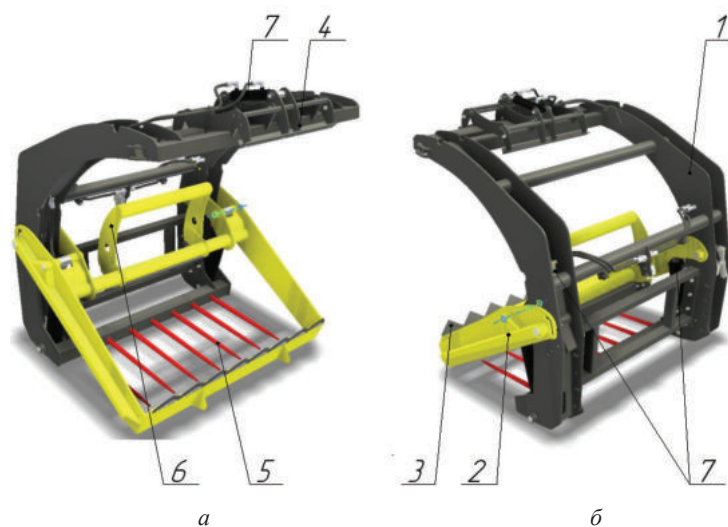


Рисунок 6 – 3D-модель конструкции резчика рулонов с устройством для снятия полимерных материалов с запрессованных кормов: а – вид спереди; б – вид сзади; 1 – рама; 2 – резак; 3 – нож (сегментный); 4 – устройство для снятия полимерных материалов (гидрофицированный); 5 – зубья; 6 – упор; 7 – гидрооборудование

Резчик рулонов с устройством для снятия полимерных материалов с запрессованных кормов (рисунок 6) состоит из рамы 1, ножевого резака 2 П-образной формы с сегментными ножами 3, гидрофицированного устройства для снятия полимерных материалов с запрессованных кормов 4, стальных зубьев 5, упора 6, а также гидрооборудования 7.

Рама представляет собой сварную Г-образную конструкцию из листового проката и труб, обеспечивающую крепление рабочих органов устройства, которая выполняет роль упора разрезаемого рулона от вертикального перемещения в процессе его резания и обеспечивает соединение с адаптером сельскохозяйственного погрузчика.

Резак представляет собой сварную конструкцию в виде П-образного рычага с отверстиями для крепления режущих ножей, упора и проушин для крепления резака к раме и гидроцилиндрам привода. Нож устройства состоит из сегментов, крепящихся к рычагу потайными болтами.

Устройство для снятия полимерных материалов 4 крючкового типа обеспечивает снятие упаковки с рулонов в полимерной упаковке, обмотанных сеткой или полипропиленовым шпагатом для рулонов без полимерной пленки. Зубья из высокопрочной закаленной стали предназначены для выполнения работ по накалыванию, перемещению и кантованию рулонов от мест хранения к месту их разделки. Упор представляет собой переставную трубу, закрепляемую на резке с целью обеспечения разделки рулонов различных диаметров: 1 200 мм, 1 500 мм и 1 800 мм.

Гидрооборудование резчика рулонов состоит из двух гидроцилиндров привода резака, гидроцилиндра устройства для снятия полимерных материалов, фитингов, клапанов, дросселей и быстросоединяемых муфт. Гидросистема погрузчика должна иметь свободную гидравлическую линию производительностью не менее 60 л/мин при рабочем давлении 20,0 МПа.

Процесс резания рулонов со снятием полимерных материалов происходит следующим образом. Оператор погрузчика с навешенным резчиком рулонов подъезжает к месту складирования рулонов, накалывает рулон на зубья резчика и транспортирует его к месту загрузки кормораздатчика (рисунок 7).

Далее рулон укладывается боковой поверхностью на горизонтальной площадке, и резчик с установленным в нижнее положение резаком опускается на рулон. Резак зажимает рулон, и погрузчик поднимает резчик с рулоном над кузовом кормораздатчика, после чего выполняется резание рулона.

В процессе резания рулон прижимается к верхней части рамы резчика. После того, как длина разреза рулона составит около 700 мм, происходит автоматическое срабатывание устройства для снятия полимерной упаковки: стрейч-пленка прижимается специальными зажимами устройства к раме резчика. Корм разрезанного рулона падает в кузов кормораздатчика.

После полной выгрузки корма агрегат с упаковкой рулона перемещается к месту складирования полимерной упаковки. При возвращении резака резчика в нижнее положение происходит открытие зажимов устройства, и полимерная упаковка падает в контейнер для сбора и хранения полимерных материалов.

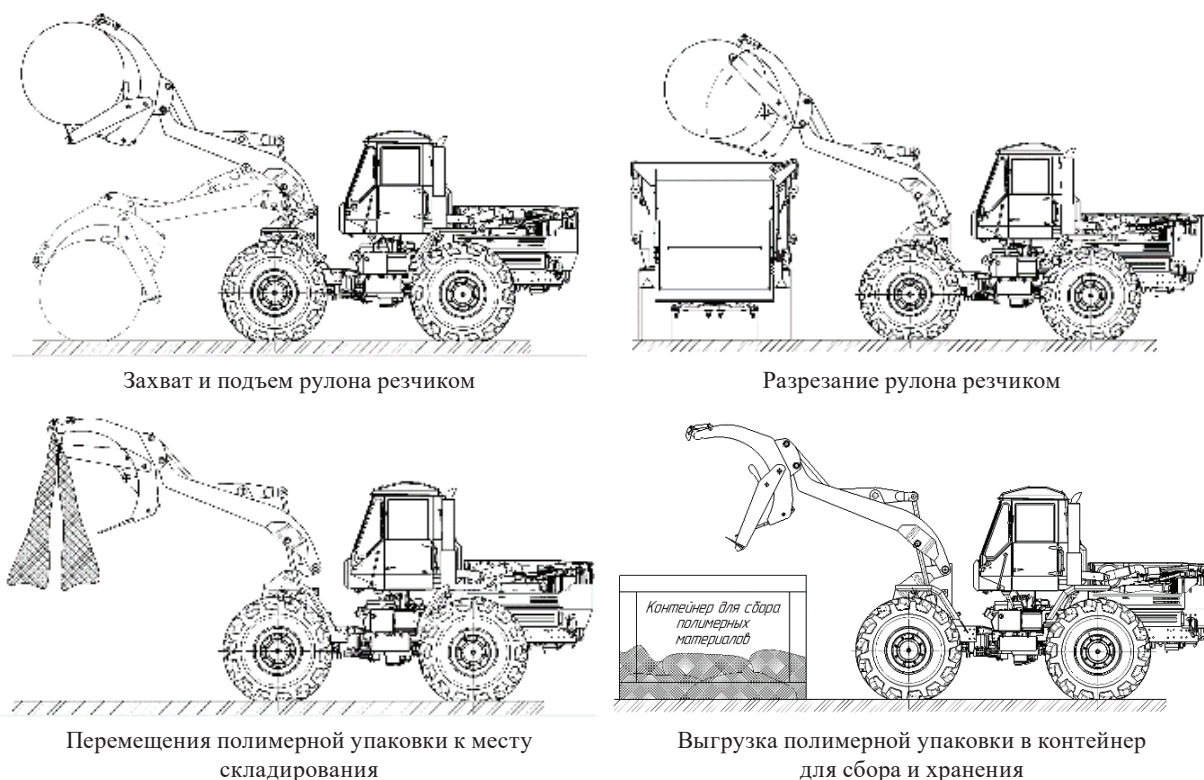


Рисунок 7 – Процесс резания рулонов со снятием полимерных материалов

## Заключение

Анализ теоретических исследований процесса взаимодействия режущего элемента ножа с кормовым массивом рулонов сенажа, упакованных в пленку диаметром 1,4–1,5 м и длиной 1,2 м, в диапазоне влажности сенажа 40–60 % позволяет сделать вывод, что наибольшую энергетическую эффективность обеспечивает резание рулона с установкой угла наклона лезвия 37–43° к образующей цилиндрической поверхности рулона, при этом усилие резания составляет 1930–6130 Н.

Разрабатываемый резчик рулонов с устройством для снятия полимерных материалов с запрессованных кормов представляет собой резчик рулонов с рамой Г-образной формы с резанием рулона снизу вверх с размером зева  $A = 2,1$  м, длиной зубьев  $L = 0,9$  м и радиусом резака  $R = 1,7$  м в виде сменного рабочего органа к широко распространенным в хозяйствах республики отечественным универсальным погрузчикам «АМКОДОР».

Предложена конструкция универсального крючкового захвата полимерной упаковки шириной захвата 1 200 мм с двумя рядами крючков, обеспечивающего зону захвата упаковки на глубину 25 мм.

Гидрооборудование разрабатываемого резчика рулонов с устройством для снятия полимерных материалов с запрессованных кормов должно обеспечивать усилие резания на кромке ножа не менее 6130 Н с запиткой от свободной линии гидрораспределителя.

## Список использованных источников

1. Пиуновский, И. И. Машины для уборки трав и силосных культур (теория и расчет рабочих органов) / И. И. Пиуновский, В. Р. Петровец, Н. И. Дудко. – Горки : БГСХА, 2016. – 325 с.
2. Механизация полевой сушки трав: пути совершенствования / П. П. Казакевич, С. Г. Яковчик, И. М. Лабонский, Л. И. Трофимович // Весці НАН Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2018. – Т. 56, № 4. – С. 481–491.
3. Станкевич, С. И. Современные технологии заготовки кормов: рекомендации / С. И. Станкевич, С. И. Холдеев. – Горки : БГСХА, 2016. – 29 с.
4. Клочков, А. В. Заготовка кормов зарубежными машинами / А. В. Клочков, В. А. Попов, А. В. Адашь. – Горки, 2001. – 201 с.
5. Особенности технологий и техническое обеспечение заготовки кормов из трав и силосных культур: рекомендации // Официальный сайт РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2018–2024. – URL: <https://belagromech.by/news/osobennosti-tehnologij-i-tehnicheskoe-obespechenie-zagotovki-kormov-iz-trav-i-silosnyh-kultur> (дата обращения: 20.10.2024).
6. Технологический регламент, техническое обеспечение и технологические карты выращивания и заготовки кормов из трав: регламент // Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, РУП «НПЦ НАН Беларуси по земледелию», РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству», РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», РНДУП «Институт мелиорации». – Минск, 2011.
7. Гальков, В. Ю. Совершенствование процесса подготовки рулонов сенажа для приготовления кормосмесей : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Гальков Виталий Юрьевич / Мичур. гос. аграр. ун-т. – Мичуринск, 2015. – 167 л.

Т. А. Непарко<sup>1</sup>, В. Б. Ловкис<sup>1</sup>, Н. Н. Быков<sup>1</sup>, Э. В. Дыба<sup>2</sup>, Л. И. Трофимович<sup>2</sup>

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: mta\_mtp@bsatu.by

<sup>2</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: dibua-18@mail.ru

### ЛЕНТОЧНЫЙ ВАЛКОВАТЕЛЬ: ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ И СХЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ВАЛКОВ

*Аннотация.* Организация полноценного кормления сельскохозяйственных животных достигается созданием крепкой кормовой базы, высоким качеством кормов и рациональным их использованием при кормлении животных и является важнейшим условием повышения их продуктивности и сохранения здоровья. Однако современное состояние кормовой базы животноводства не в полной мере соответствует требованиям отрасли и без ряда преобразований не может обеспечить необходимую ее продуктивность. Задача заключается не только в увеличении производства кормов, но и в повышении их качества, что неразрывно связано с технологиями их заготовки и комплексами машин для эффективного выполнения производственных процессов уборки и консервирования кормов. Техническая оснащенность кормопроизводства, несмотря на принимаемые меры, по-прежнему остается недостаточной. В условиях дефицита высокопроизводительной кормозаготовительной техники, ее старения на первый план выходит необходимость эффективной организации работ. Практика показывает, что сельскохозяйственные предприятия, убирающие первый укос трав за 15–20 дней, всегда полностью обеспечены кормами высокого качества. Для увеличения производства высокопитательных кормов необходим качественный прорыв – внедрение в сельское хозяйство современных технологий изготовления кормов и комплекса машин. В каждом сельскохозяйственном предприятии должен быть детально отработан план уборки трав и заготовки кормов, предусматривающий применительно к погодным условиям различные варианты, оперативное маневрирование техническими средствами на уровне сельскохозяйственных предприятий и районов, обязательное материальное стимулирование работы по выполнению объемов и обеспечению качества кормов. В комплексе мер по повышению качества травяных кормов и обеспечению животноводства растительным белком исключительно важное значение имеет уборка и заготовка кормов из трав. На этом технологическом этапе имеются резервы сокращения потерь урожая и снижения себестоимости кормов. В связи с этим в статье представлено обоснование организации работы и схемы формирования валков ленточным валкователем.

*Ключевые слова:* валкователь, кормопроизводство, сено, сенаж, подбор, обрачивание, вспушивание, сгребание, валок.

T. A. Neparko<sup>1</sup>, V. B. Lovkis<sup>1</sup>, N. N. Bykov<sup>1</sup>, E. V. Dyba<sup>2</sup>, L. I. Trofimovich<sup>2</sup>

<sup>1</sup>EI “Belarusian State Agrarian Technical University”,

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: mta\_mtp@bsatu.by

<sup>2</sup>RUE “SPC NASciences of Belarus for Agricultural Mechanization”,

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: dibua-18@mail.ru

### BELT RAKER: ORGANIZATION OF WORK AND ROLL FORMATION SCHEME

*Abstract.* Organization of adequate feeding of farm animals, which is achieved by creating a strong food supply, high quality feed and their rational use when feeding animals, is the most important condition for increasing their productivity and maintaining health. However, the current state of the livestock feed supply does not fully meet the requirements of the industry and, without a number of transformations, cannot provide the necessary



productivity. The task is not only to increase the production of feed, but also to improve its quality, which is inextricably linked with the technology of its preparation and the complexes of machines for the high-quality implementation of production processes for cleaning and preserving feed. The technical equipment of feed production, despite the measures taken, continues to be insufficient. In the context of a shortage of high-performance forage equipment and its aging, the need for effective organization of work comes to the fore. Practice shows that agricultural enterprises that harvest the first cuttings of grass in 15–20 days are always fully provided with high-quality feed. To increase the production of highly nutritious feed, a qualitative breakthrough is needed – the introduction into agricultural production of modern feed production technologies and machine complexes for their implementation. Each agricultural enterprise must have a detailed plan for harvesting grass and preparing feed, providing for various options in relation to weather conditions, operational maneuvering of technical means at the level of agricultural enterprises and regions, mandatory financial incentives for meeting the volumes and ensuring the quality of feed. In a set of measures to improve the quality of grass feed and provide livestock with plant protein, the harvesting and preparation of feed from grass is of utmost importance. At this technological stage there are reserves for reducing crop losses and reducing the cost of feed. In this regard, the article presents the rationale for the organization of work and the scheme for forming windrows with a belt rake.

*Keywords:* rake, forage production, hay, haylage, selection, wrapping, fluffing, raking, windrowing.

## **Введение**

В Республике Беларусь каждый сезон заготавливают большое количество травяных кормов, вкладывают значительные средства в их производство и понимают, что не имеют права терять качество или оставлять белок на поле из-за несовершенства операций подбора и валкования. Известно, что роторные и колесно-пальцевые грабли формируют валок, перемещая зеленую массу по полю, поднимая пыль, повреждая скошенные растения и оставляя часть урожая на поле [1–4]. Потери могут быть слишком значительными и в денежном выражении могут быть даже равными стоимости новой машины [5]. В связи с этим назрела необходимость использования новых машин для выполнения работ по формированию валков, обеспечивающих минимальные потери и загрязнение кормов. Однако сложностей выбора не избежать – столь велики отличия у машин различных моделей и производителей в вопросах организации подбора массы, адаптации к рельефу, гибкости в эксплуатации. Анализ недостатков граблей-валкователей ротационного или колесно-пальцевого типа, используемых в настоящее время на операции сгребания высушенной или провяленной массы, привели ряд зарубежных стран к изысканию нового принципа их работы, обеспечивающего получение максимально «чистого» корма. В результате такого поиска были разработаны грабли-валкователи ленточного типа, для которых характерны высокая производительность, возможность выбора укладки валка – один или два, центральный или боковой; чистый и бережный подбор скошенной массы; заготовка силоса, сена или сенажа (возможность валковать люцерну, сорго, пшеницу, мискантус, солому, кукурузу, а также различные травяные и бобовые культуры). Применение ленточного валкователя позволяет также формировать один большой валок без потери качества, при этом экономить топливо и обеспечивать необходимую загрузку кормоуборочного комбайна, пресс-подборщика и прицепа-подборщика; осуществлять заготовку кормов в более сжатые сроки; эффективно заготавливать корма при втором, третьем и последующих укосах, когда объем массы с гектара снижается.

Учитывая преимущества новых валкователей ленточного типа перед ротационными и колесно-пальцевыми граблями, становится абсолютно очевидной актуальность создания и освоения в производстве отечественного аналога валкователя, внедрение которого позволит повысить качество основных видов кормов, а значит – приблизит выполнение планов в кормопроизводстве Республики Беларусь.

## **Основная часть**

Травы естественных лугопастбищных угодий, сеяные многолетние бобовые, злаковые и бобово-злаковые травосмеси, однолетние травы являются сырьем для заготовки сена, сенажа, силоса. Вид заготавливаемых кормов определяется в зависимости от физиологических потребностей (особенностей) соответствующей группы животных, технологий кормления, экономической со-



стоятельности и уровня потерь сухих веществ. В организационном плане весь процесс заготовки кормов надо построить так, чтобы за счет гибкого маневрирования технологиями с учетом созревания травостоя и погодных условий каждый вид кормовых культур убирать своевременно, в зависимости от их скороспелости и фаз вегетации. Главное при этом – не делать ставку на заготовку какого-либо одного вида. Выбор технологий – за руководителями и специалистами сельскохозяйственных предприятий, в которых, исходя из реальных условий, заготавливаются необходимые высококачественные корма. При этом заготовка кормов – это цепочка, состоящая из звеньев, в которой ленточный валкователь является одним из ключевых.

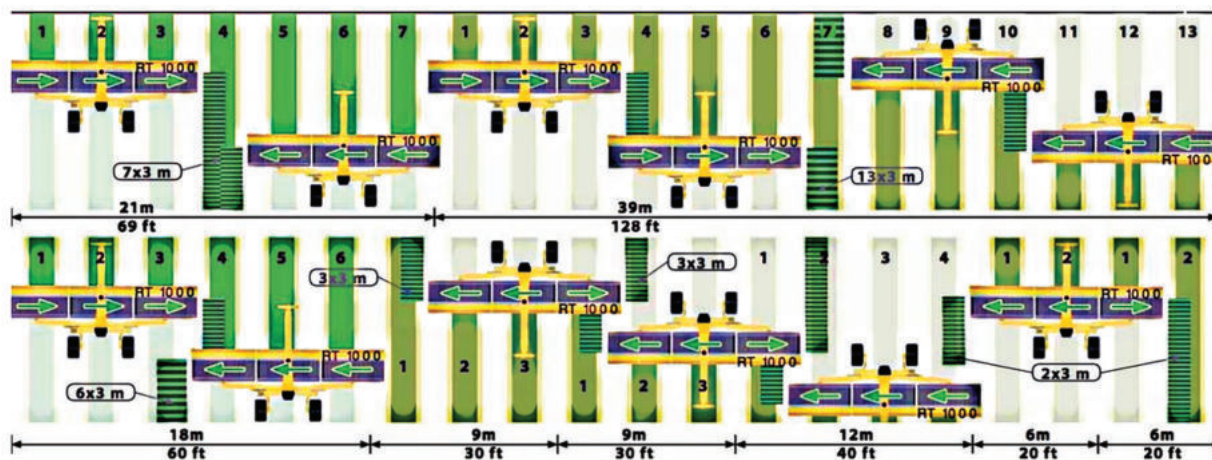
**Обоснование схем формирования валков ленточным валкователем.** При использовании на уборке трав 9-метровой косилки-бабочки, которая оставляет после себя три валка, ленточный валкователь может подобрать три валка, положить их на середину четвертого, сделать разворот, подобрать еще и пятый, шестой, седьмой валки и также положить их на четвертый, т. е. с 21 м формируется один валок шириной примерно 3 м. Между такими валками при первом укосе расстояние получается по 18 м. Роторные грабли обычно формируют один валок каждые 9, 10, 12 или 14 м.

При втором, третьем и даже четвертом укосах стремятся получить больше массы в валке. Этого можно достичь лишь за счет увеличения количества объединенных валков. На рисунке приведена схема объединения 13 валков с 39 м в один.

Для формирования валков под рулоны и пресс-подборщик следует объединять валки с 9, 12 и 6 м, направляя массу со всех транспортеров влево либо вправо.

Ленточный валкователь может работать с двумя или одной секцией: сложив одну боковую секцию, машина работает оставшимися двумя, направляя массу, к примеру, с центральной секции влево, с боковой – вправо, либо с обеих лент вправо или влево. Предусмотрена возможность работы только с центральной секцией, предварительно сложив две боковые секции: например, при необходимости перевернуть сформированный валок, если прошел сильный дождь.

**Объединение валков на больших расстояниях друг от друга.** Как правило, после валкообразователя идет либо пресс-подборщик, либо силосоуборочный комбайн. После использования обычных роторных граблей, особенно при втором и третьем укосах, объема массы в валке не хватает. Приходится увеличивать скорость работы агрегата на прессовании массы, чтобы уложиться в отведенный на уборку временной интервал, или приобретать дополнительный трактор с пресс-подборщиком и использовать 2–3 единицы техники, чтобы обработать одну и ту же площадь. Например, тюковый пресс-подборщик весит примерно 11–12 т, для работы с ним нужен трактор мощностью 200–300 л. с. и весом также 11–12 т, таким образом, 24-тонный агрегат необходимо перемещать по полю (с роторными граблями) на скорости до 15 км/ч. При такой скорости невозможно формировать максимальное количество тюков в час. Используя же ленточный валкователь, можно увеличить объем массы в валке и при этом существенно сократить



Схемы формирования валков ленточным валкователем

количество самих валков в поле. Количество прогонов техники по полю уменьшится, а трактор с пресс-подборщиком может двигаться по полю со скоростью 4–5 км/ч, обеспечивая максимальную эффективность и производительность.

То же самое можно сказать и про силосоуборочные комбайны, средняя мощность которых составляет 500–700 л. с. (в настоящее время до 800–1 000 л. с.) при большом количестве расхода топлива. Поэтому делать короткие частые прогоны через всё поле такими комбайнами, занимая много времени наряду с колоссальными затратами на топливо, неэффективно. При агрегатировании ленточного валкователя с тракторами мощностью 120–150 л. с. и формировании валков достаточного объема на необходимом расстоянии друг от друга, комбайн сможет передвигаться по полю со скоростью 4–5 км/ч и использовать свою мощность для измельчения массы, а не для повышения скорости.

После самоходных косилок ленточный валкователь объединяет два валка в один и тем самым сокращается количество проходов комбайна через все поле, как минимум вдвое.

Ленточный валкователь обеспечит повышение эффективности кормоуборочной техники, которая используется после него, за счет уменьшения количества валков в поле с одновременным сохранением объема массы в этих валках. Отсутствие камней и земли в валках снижает износ компонентов машины (то же касается и кормосмесителей), обеспечивая экономию на расходных материалах.

В некоторых сельскохозяйственных предприятиях порой третий и даже четвертый укос предпочитают оставить в поле, потому что себестоимость массы, собранной комбайном, экономически нецелесообразна. Ленточный валкователь, сгребая массу с 39 или 45 м, дает возможность полностью задействовать весь потенциал полей предприятия и собрать все, что на них вырастает.

Отсутствие почвенных включений и камней в валке снижает зольность валка, а при валковании люцерны листва, которая максимально богата протеинами и другими питательными веществами, остается в валке, тем самым улучшая качество корма. Это, в свою очередь, способствует улучшению здоровья животных, снижению ветеринарных расходов, увеличению надоев молока. Повышается качество самого молока, а значит и его стоимость, а также стоимость конечной молочной продукции, которая затем будет произведена на этапе переработки.

Чистый подбор позволяет избежать повреждения молодых побегов, и после первого укоса начинают формироваться новые побеги, а роторные грабли, работая ниже уровня стерни, повреждают их, что приводит к увеличению вегетативного периода. Всю скошенную массу подбирают без потерь.

**Анализ схем формирования валков ленточным валкователем.** Ленточный валкователь позволит формировать валки из любой скошенной массы, независимо от ее объема, длины и влажности, на расстоянии между ними от 9 до 45 м без потери качества массы в валке. И такая дробность очень важна, так как урожайность зеленой массы может быть такова, что после одного прохода валкователя валок будет мал для оптимальной загрузки кормоуборочного комбайна или пресс-подборщика, а после двух полных проходов – велик.

При обосновании схем работы валкователя установлено, что сегментация ленточного транспортера дает возможность более гибкой конфигурации при работе, обеспечивая линейную плотность валка не менее 4 кг на 1 погонный метр. С этой целью обоснована сегментация ленточного валкователя в зависимости от урожайности прессуемой массы (см. таблицу).

**Линейная плотность валка в зависимости от урожайности сгребаемой массы и сегментации ленточного валкователя**

Сегментация валкователя	Урожайность массы, т/га						
	2	4	6	8	10	12	14
$b_p$	1,78	3,56	5,34	7,12	8,90	10,68	12,46
$2/3b_p$	1,17	2,37	3,56	4,15	5,93	7,12	8,31
$1/3b_p$	0,59	1,19	1,78	2,37	2,96	3,56	4,15

При урожайности сгребаемой массы более 4,5 т/га с использованием полной ширины захвата валкователя  $b_p$  валок можно формировать не только слева и справа, но одновременно на обе стороны в соотношении 2/3 и 1/3 (см. рисунок). Это даст возможность укрупнять валки кратно не только 3, но и 2 или 1. Для формирования валков для работы пресс-подборщиков шириной не более 1,4 м следует объединять валки с 9, 12 и 6 м, направляя массу со всех транспортеров влево либо вправо.

Ленточный валкователь может работать с двумя ( $2/3b_p$ ) или одной ( $1/3b_p$ ) секцией. При урожайности убираемой массы более 6,8 т/га, сложив одну боковую секцию, машина работает оставшимися двумя, направляя массу, к примеру, с центральной секции влево, с боковой – вправо, либо с обеих лент вправо или влево.

При урожайности свыше 13,5 т/га предусмотрена возможность работы только с центральной секцией, предварительно сложив две боковые секции: например, при необходимости перевернуть сформированный валок, если прошел сильный дождь.

### **Заключение**

Использование ленточного валкователя и увеличение объема массы в валке существенно сокращает количество самих валков в поле и количество прогонов техники по полю.

Объединяя ленточным валкователем два валка в один после самоходных косилок, можно сократить количество проходов комбайна через все поле, как минимум вдвое.

### **Список использованных источников**

1. Дыба, Э. В. Предпосылки к изучению влияния параметров рабочего органа сдвоенного типа к колесно-пальцевым граблям на качество валкования скошенных трав / Э. В. Дыба, В. В. Микульский // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2020. – Вып. 54. – С. 145–149.
2. Дыба, Э. В. Анализ современных конструкций колесно-пальцевых граблей, применяемых для валкования травяных кормов / Э. В. Дыба, Л. И. Трофимович // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-техн. конф. РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», посвященной 100-летию со дня рождения М. М. Севернева. – Минск. – 2021. – С. 50–63.
3. Дыба, Э. В. Анализ известных типов граблей-валкователей / Э. В. Дыба, В. В. Микульский, Л. И. Трофимович // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. науч.-техн. конф. РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», посвященной 100-летию со дня рождения М. М. Севернева. – Минск. – 2021. – С. 104–109.
4. Дыба, Э. В. Поиск путей повышения качества травяных кормов / Э. В. Дыба, В. В. Микульский, Т. А. Непарко // Актуальные проблемы устойчивого развития сельских территорий и кадрового обеспечения АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 3–4 июня 2021 г. ; редкол.: Н. Н. Романюк [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2021. – С. 408–413.
5. Почему ленточный валкообразователь стоит внимания // Официальный сайт электронной версии журнала «Молоко и Ферма». – 2008–2025. – URL: <http://milkua.info/ru/post/pochemu-lentocnyj-valkoobrazovatelstoit-vnimania> (дата обращения: 12.09.2024).

**Т. А. Непарко<sup>1</sup>, В. Б. Ловкис<sup>1</sup>, Н. Н. Быков<sup>1</sup>, Э. В. Дыба<sup>2</sup>, Л. И. Трофимович<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: mta\_mtp@bsatu.by

<sup>2</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: dibua-18@mail.ru

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛЕНТОЧНОГО ВАЛКОВАТЕЛЯ**

*Аннотация.* В статье рассмотрены факторы, влияющие на качество заготавливаемых кормов: погодные условия; оптимальные сроки уборки трав; высота скашивания; продолжительность полевой сушки или провяливания скошенной массы до кондиционной влажности; качество сгребания провяленной травяной массы; степень измельчения закладываемой массы; качество закладываемого сенажа и силоса; быстрое уплотнение травяных кормов до требуемой величины; процесс ферментации; качественное хранение и выемка с минимальным окислением; а также проведены теоретические исследования основных эксплуатационно-технологических параметров ленточного валкователя.

*Ключевые слова:* фактор, качество, корм, прокос, ворошение, валкователь, параметры, валок.

**T. A. Neparko<sup>1</sup>, V. B. Lovkis<sup>1</sup>, N. N. Bykov<sup>1</sup>, E. V. Dyba<sup>2</sup>, L. I. Trofimovich<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>EI “Belarusian State Agrarian Technical University”,  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: mta\_mtp@bsatu.by

<sup>2</sup>RUE “SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization”,  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: dibua-18@mail.ru

## **THEORETICAL RESEARCH OF OPERATIONAL AND TECHNOLOGICAL BELT ROLLER PARAMETERS**

*Abstract.* The article identifies factors influencing the quality of prepared feed: weather conditions; optimal timing for harvesting herbs; cutting height; duration of field drying or drying of the mown mass to the required humidity; quality of raking of dried grass mass; degree of grinding of the applied mass; quality of laid haylage and silage; rapid compaction of grass feed to the required size; fermentation process; high-quality storage and retrieval with minimal oxidation; Theoretical studies of the main operational and technological parameters of the belt rake were carried out.

*Keywords:* factor, quality, feed, swathing, tedding, rake, parameters, windrow.

### **Введение**

Качество сена во многом зависит от сырья. В качестве корма лучшими являются бобовые и злаковые травы, менее ценны растения из семейства осоковых и разнотравье. Более полноценным по содержанию питательных веществ является сено, заготовленное из смеси различных трав. Например, у бобовых трав в смеси со злаками лучше сохраняются при сушке цветочные головки и листья, которые содержат в два раза больше белковых и минеральных веществ, а каротина в 10–15 раз больше, чем стебли, переваримость питательных веществ в них выше на 40 %. В настоящее время наиболее распространенной и экономически состоятельной технологией является заготовка сена методом естественной полевой сушки в рассыпном или прессованном виде. При заготовке сена в рассыпном виде потери сухого вещества достигают 35–50 %, прессование

сена позволяет снизить эти потери до 30–35 %, при этом обеспечивается полная механизация процесса заготовки.

Качество травяных кормов, получаемых из скошенных трав, зависит от множества факторов, основным из которых является скорость их сушки (проявления) до кондиционной влажности. Однако неустойчивые погодные условия, характерные для нашей республики, в период сенокоса значительно усложняют эту задачу. Так, исследованиями доказано, что при сушке в хорошую погоду общие потери сухого вещества травы колеблются от 10 до 30 %, а при неблагоприятных погодных условиях они достигают 50 % и больше, при этом значительны потери протеинов и других питательных веществ [1]. В настоящее время при высоких урожаях зеленой массы в мировой практике, в частности в Западной Европе, практикуется скашивание и укладка в прокос, а не в валок, для ускорения процесса сушки, поэтому все большее количество уборочных комплексов и косилок скашивают убираемую массу в широкие прокосы с последующим их ворошением. Этот прием позволяет ускорить процесс полевой сушки на 25–35 %. В условиях республики скашивание в прокос и интенсивное ворошение прокоса позволяют получить травяные корма кондиционной влажности в более короткие сроки. Соответственно, качество такого корма высокое, в нем максимально сохраняется каротин, протеин, углеводы и другие питательные и витаминные комплексы, влияющие на его энергетическую ценность. Дальнейшее досушивание и сохранение энергетической ценности травяных кормов во многом зависит от качества их сгребания в валки [2].

### Основная часть

**Факторы, влияющие на качество заготавливаемых кормов.** *Первый фактор* – сроки начала заготовки. Злаковые травы начинают скашивать при достижении ими высоты 40–50 см. В это время колос только собирается выйти наружу. Заканчивают убирать злаковые не позже, как три четверти массива зацветет. К скашиванию бобовых приступают в фазе начала бутонизации и завершают в фазе цветения. В практике заготовки кормов скашивание в основном начинают в более поздние стадии вегетации растений для так называемого набора массы. Опоздание с началом уборки на одну неделю равно потере 3,6 единиц переваримости корма, что равносильно дополнительным затратам 1,5 кг комбикорма на голову в день. Если растение переросло и полегло, то потеря составит уже 9 единиц переваримости.

Важна еще и высота среза растений. Скашивание культур производят на высоте не ниже 8 см от поверхности. Это увеличивает отрастание и урожайность следующего укоса. На практике она составляет  $5 \pm 2$  см. Отклонение от рекомендуемой высоты среза вызвано, во-первых, привычкой с советских времен заготавливать тонны и кормовые единицы, а не обменную энергию; во-вторых, для качественного среза на высоте 8–10 см нужна высокая плотность травостоя, в противном случае косилка «затирает» растения, а не косит. Для решения этой задачи требуется особый подход к сеvu люцерны – идеальная схема, когда растения расположены на расстоянии 8–10 см друг от друга. В большинстве случаев люцерну сеют с междурядьем 15–19 см, без уплотнения посева за счет поперечного сева или смещения сеялки в междурядье, что возможно только при использовании навигации.

Высота среза, выровненность поля плюс способность подвески косилок поддерживать заданную высоту среза, а также применение ленточных валкообразователей – условия, соблюдение которых обеспечивает снижение загрязнения корма почвой и количества находящихся в ней патогенных бактерий.

*Второй фактор* – качество закладываемого сенажа и силоса, которое зависит от ряда других факторов, в первую очередь от процента содержания сухого вещества. Высокая влажность сырья повышает буферную емкость, что мешает быстрому закислению массы (таблица 1).

Необходимо помнить, что из валков испарение влаги из 1 т зеленой массы составляет около 20 л/час, а из расстеленной массы – 100 л. Кроме того, высокое содержание протеина также повышает буферную емкость закладываемой массы.

*Третий фактор* – степень измельчения закладываемой массы. Для кукурузного силоса оптимальная степень измельчения 4–10 мм, для силоса из злаковых и злаково-бобовых смесей – 20–



40 мм, сенажа люцерны – 30–50 мм, зернового сенажа – 5–15 мм. Длина резки на кормоуборочном комбайне влияет на качество корма, так как от нее зависит скорость трамбовки. Для управления ею требуется система автоматического изменения длины резки в зависимости от влажности растений: при снижении влажности длина резки должна уменьшаться.

Таблица 1 – Буферная емкость силосуемых и сенажируемых кормов

Культура	Буферная емкость (мэк NaOH на 1 кг СВ)
Кукуруза на силос	200
Ежа сборная	300
Райграс многолетний	350
Люцерна	520

*Четвертый фактор* – быстрое уплотнение до требуемой величины. Основная ошибка, не позволяющая получить качественный корм, – чрезмерная толщина слоя. Большинство технологов считает, что трамбовка происходит только тогда, когда слой укладываемой массы составляет 15–20 см, но не толще 30 см. Практические тесты в США показали, что при толщине слоя 30 см при оптимальной влажности удается достичь плотности до 500 кг/м<sup>3</sup>, а при уменьшении толщины трамбуемого слоя до 10 см плотность увеличивается в 1,5 раза при том же темпе заготовки. Если плотность будет ниже 600 кг/м<sup>3</sup>, то потери за время хранения могут составить до 20–25 %. Как показывает практика, большая часть заготовленного в Республике Беларусь сенажа и силоса имеет плотность от 400–600 и только у самых передовых сельскохозяйственных предприятий – до 650 кг/м<sup>3</sup>. Для получения качественного силоса необходима плотность не ниже 700 кг/м<sup>3</sup>, и чем она выше, тем ниже потери питательной ценности.

Для эффективного повышения плотности трамбовки в последние годы помимо тяжелой техники часто применяют каток из железнодорожных колес.

*Пятый фактор* – процесс ферментации. Весь процесс силосования или сенажирования подразделяется на четыре стадии: аэробную, бактериальной ферментации, стабилизации и скармливания. Аэробная стадия характеризуется работой бактерий, использующих кислород и легкодоступные сахара. В результате выделяются углекислый газ, вода, повышается температура закладываемой массы и разрушаются белки. Вот почему необходимы качественная трамбовка и быстрое выдавливание кислорода из массы. Действие же собственно молочнокислых бактерий начинается со 2–3-го дня изоляции от кислорода. При этом все молочнокислые бактерии, находящиеся на растениях, так называемого гетероферментативного пути. Это означает, что такая бактерия, ферментируя молекулу глюкозы или фруктозы, прежде чем образовать молекулу молочной кислоты, проходит через ряд промежуточных реакций с образованием метанола, маннитола, углекислого газа, уксусной кислоты, которые накапливаются в заготавливаемой массе, что и делает корма невкусными. Налицо неэффективное использование легкорастворимых сахаров и существенная потеря питательных веществ и энергетической ценности корма. Есть и другие виды бактерий: прямого пути ферментирования или гомоферментативного, когда бактерия напрямую, без промежуточных реакций, образует две молекулы молочной кислоты. Однако в растениях их ничтожное количество, поэтому в расчет они не берутся.

Процесс ферментации сахаров – очень ответственный, так как от скорости и эффективности ферментации будут зависеть сохранность, питательность и качество корма. Для получения качественных кормов необходимо использование бактериальных заквасок. Современные закваски отличаются тем, что содержат четыре вида бактерий прямого пути ферментирования или гомоферментативного. В отличие от гетероферментативного при гомоферментативном пути ферментации сахаров не образуется промежуточных продуктов распада, что повышает вкусовые качества корма и позволяет более эффективно использовать сахара.

*Шестой фактор* – качественное хранение и выемка с минимальным окислением. В практике кормления к этому вопросу относятся без должного внимания. Между тем даже заготовив качественные корма, из-за ошибок при вскрытии траншеи можно существенно снизить их качество. Ни в коем случае нельзя открывать слишком большую поверхность, допустим, на 3–4 дня

вперед. Корм на открытой площади соприкасается с воздухом, а кислород, как известно, сильнейший окислитель. Положение существенно усугубляется, если выемка корма производится неправильно. В отсутствие фрезы при выемке корма из траншеи ковшем снимают корм, отрывая куски и допуская разрыхление большого количества корма. Часто бывают случаи подвоза кормов заранее, например, вечерний завоз для приготовления кормосмеси и раздачи утром. Все эти и подобные нарушения существенно снижают качество корма на кормовом столе.

Таким образом, в процессе заготовки качественных кормов необходимы строгое соблюдение технологии и учет всех факторов, влияющих на конечный результат.

**Анализ результатов обобщенной оценки МТА.** Моделируем процесс сгребания просушенной (проявленной) массы в валки ленточным валкователем на базе различных тракторов по интегральному критерию относительного удаления от цели [3–5]:

$$\mu'_j = \frac{\sum_{i=1}^n u_{ij}^H - \sum_{i=1}^n u_{io}^H}{u_{io}^H} = \frac{\sum_{i=1}^n u_{ij}^H}{N} - 1,$$

где  $u_{ij}^H$ ,  $u_{io}^H$  – соответственно нормированные значения критериев  $j$ -го и идеального вариантов, определяем целевую функцию выбора рационального состава и режимов работы МТА для заданной технологической операции:

$$\mu'_{ijsf} = \frac{N_{D_{\text{опт}ijsf}}^H + \Theta_{ijsf}^H + 3_{ijsf}^H}{N_{D_{\text{опт}ijsf}}^O + \Theta_{ijsf}^O + 3_{ijsf}^O} - 1 \rightarrow \min.$$

Результаты обобщенной оценки представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Оценка ленточного валкователя, агрегируемого с тракторами тяговых классов 3 и 2 по обобщенному показателю в зависимости от сегментации и длины гона**

Состав агрегата	Оцениваемые показатели				Обобщенная оценка (μ')
	Сменная производительность, га	Относительное число нормосмен	Затраты топлива, кг/га	Затраты труда, ч/га	
Длина гона 600 м					
«Беларус-1221.2» + $b_p$	47,0	0,61	2,55	0,15	0,07 (2)
«Беларус-1523» + $b_p$	51,8	0,56	2,46	0,14	0 (1)
«Беларус-1221.2» + $2/3b_p$	36,9	0,78	3,15	0,19	0,34 (4)
«Беларус-1523» + $2/3b_p$	39,8	0,72	3,36	0,18	0,31 (3)
«Беларус-1221» + $1/3b_p$	19,9	1,45	5,91	0,35	1,49 (5)
«Беларус-1523» + $1/3b_p$	19,9	1,45	6,72	0,35	1,61 (6)
Идеальный вариант		0,56	2,46	0,14	
Длина гона 800 м					
«Беларус-1221.2» + $b_p$	49,3	1,04	2,42	0,14	0,07 (2)
«Беларус-1523» + $b_p$	55,26	0,93	2,47	0,13	0,01 (1)
«Беларус-1221.2» + $2/3b_p$	39,3	1,30	3,01	0,18	0,34 (4)
«Беларус-1523» + $2/3b_p$	41,4	1,24	3,29	0,17	0,33 (3)
«Беларус-1221» + $1/3b_p$	20,9	2,45	5,74	0,33	1,51 (5)
«Беларус-1523» + $1/3b_p$	20,9	2,45	6,52	0,33	1,62 (6)
Идеальный вариант		0,93	2,42	0,13	
Длина гона 1000 м					
«Беларус-1221.2» + $b_p$	58,8	1,36	2,14	0,12	0 (1)
«Беларус-1523» + $b_p$	58,7	1,36	2,37	0,12	0,04 (2)
«Беларус-1221.2» + $2/3b_p$	20,9	2,45	5,74	0,33	1,41 (3)
«Беларус-1523» + $2/3b_p$	20,9	2,45	6,52	0,33	1,53 (4)
«Беларус-1221» + $1/3b_p$	22,2	3,60	5,78	0,31	1,64 (5)
«Беларус-1523» + $1/3b_p$	22,2	3,60	6,57	0,31	1,77 (6)
Идеальный вариант		1,36	2,14	0,12	

Произведен выбор рационального состава и режима работы агрегатов на заготовке кормов при сгребании массы на стерне нормальной влажности с удельным сопротивлением ленточного валкователя 0,7–0,9 кН/м с учетом изменения длины гона и соответствующего сочетания ленточного валкователя на базе тракторов класса 3 и 2. Расчеты произведены для трех значений длины гона  $L_p$ : 600, 800 и 1 000 м. Исследованиями установлено, что между размерами участков и длинами гонов существует тесная корреляционная связь, т. е. малым площадям участков соответствуют малые длины гонов и, наоборот, большим площадям участков соответствуют большие длины гонов. В связи с этим для комплексной оценки агрегатов приняты следующие значения площадей одного поля: 28,8; 51,2 и 80 га, соответствующие приведенным выше длинам гонов.

Исследование показало, что при длине гона 600 м оптимальным по интегральному критерию удаления от цели является агрегат «Беларус-1523»+ $b_p$  ( $\mu' = 0$ ), обеспечивающий производительность 51,8 га за смену при расходе топлива 2,46 кг/га. При увеличении длины гона до 800 м более эффективен агрегат «Беларус-1523»+ $b_p$  ( $\mu' = 0,01$ ), обеспечивающий производительность 55,26 га за смену при расходе топлива 2,47 кг/га.

При формировании валков ленточным валкователем в целом эффективен агрегат «Беларус-1221.2»+ $b_p$ , обобщенный показатель которого, начиная с длины гона 600 м, улучшается и достигает своего наилучшего значения при длине гона 1 000 м ( $\mu' = 0$ ), обеспечивая производительность 58,8 га за смену при расходе топлива 2,14 кг/га.

Повышение производительности и снижение расхода топлива агрегатов при среднестатистических условиях работы вызвано снижением тягового сопротивления МТА при сегментации ленточного валкователя, увеличением рабочей скорости движения, коэффициента использования времени смены и коэффициента загрузки двигателя по мощности. Это ведет к улучшению оцениваемых показателей и, как следствие, снижению показателей идеального варианта, что, в свою очередь, влечет за собой изменение ранжирования агрегатов.

### Заключение

Выполненные расчеты позволили установить, что производительность за час эксплуатационного времени ленточного валкователя составляет от 2,85 до 8,40 га/ч в зависимости от укоса, состояния полей и его сегментации. При первом укосе, когда объем массы велик, рекомендована рабочая скорость трактора до 13 км/ч. При втором, третьем укосах, если поля ровные, скорость может быть до 16 км/ч.

### Список использованных источников

1. Маклахов, А. В. Совершенствование технологии заготовки сена в рулонах / А. В. Маклахов, В. К. Углин, В. Е. Никифоров // Владимирский земледелец. – 2017. – № 4 (82). – С. 28–30.
2. Особенности технологий и техническое обеспечение заготовки кормов из трав и силосных культур: официальный сайт РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2018–2025. – URL: <https://belagromech.by/news/osobennosti-tehnologij-i-tehnicheskoe-obespechenie-zagotovki-kormov-iz-trav-i-silosnyh-kultur> (дата обращения: 11.07.2024).
3. Непарко Т. А. Технологии и техническое обеспечение производства продукции растениеводства : учеб. пособие / Т. А. Непарко, А. В. Новиков, И. Н. Шило ; под общ. ред. Т. А. Непарко. – Минск : ИВЦ Минфина, 2015. – 199 с.
4. Непарко, Т. А. Повышение эффективности производства картофеля обоснованием рациональной структуры состава применяемых комплексов машин : автореф. дис. ... к-та техн. наук / Т. А. Непарко ; БГАТУ. – Минск, 2004.
5. Непарко, Т. А. Технология и техническое обеспечение производства продукции растениеводства : электронное учеб. пособие / Т. А. Непарко // Минсельхозпрод РБ, БГАТУ, Кафедра ЭМТП и А. – Минск : БГАТУ, 2023.

**А. И. Пунько, С. А. Дрозд, И. А. Цубанова, Е. А. Рацкевич**

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет  
г. Минск, Республика Беларусь*

## **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ УДАРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МОЛОТКОВОЙ ДРОБИЛКИ**

*Аннотация.* В статье представлены результаты анализа патентов конструкций рабочих органов молотковых дробилок, применяемых для измельчения зернофуража при производстве комбикормов.

*Ключевые слова:* дробилка зернофуража, рабочие органы, молоток, конструкция.

**A. I. Punko, S. A. Drozd, I. A. Tsubanova, E. A. Ratskevich**

*EI "Belarusian State Agrarian Technical University"  
Minsk, Republic of Belarus*

## **IMPROVING THE DESIGN OF IMPACT ELEMENTS OF A HAMMER CRUSHER**

*Abstract.* The article presents the results of an analysis of patents for the designs of working parts of hammer crushers used for grinding grain fodder in the production of animal feed.

*Keywords:* grain crusher, working parts, hammer, design.

### **Введение**

Измельчение является одним из основных и энергоемких процессов механического разрушения зерна на более мелкие частицы для их дальнейшего использования в составе комбикормов. В качестве основного оборудования применяются молотковые дробилки ударного действия. Они являются высокоэффективным ресурсосберегающим оборудованием, способным обеспечивать требуемый по крупности и однородности гранулометрический состав. Дробилки надежны, просты в управлении процессом и в обслуживании [1].

Проблемами совершенствования конструкций, технологии ударного измельчения и разработкой математических методик расчета конструктивно-технологических и энергетических параметров дробилок и мельниц ударного действия занимались известные ученые: В. А. Бауман, В. П. Барабашкин, Э. И. Левданский, В. П. Осокин, Л. А. Сиваченко, В. М. Муртазин и др. [2, 3].

Несмотря на широкое распространение молотковых дробилок, их рабочий процесс недостаточно изучен и требует совершенствования, направленного на снижение энергопотребления и улучшение качества готового продукта. Повышение эффективности использования дробилки может быть достигнуто за счет увеличения срока службы молотков до их предельного состояния и увеличения межремонтного периода.

### **Основная часть**

В последние годы разработаны и применяются новые технические решения для повышения работы молотковых дробилок.

Известно изобретение молотка молотковой дробилки [4], содержащее подвес с отверстием для крепления на роторе, ударную часть с профилированной наружной поверхностью, установленную на подвесе через подшипник и имеющую возможность вращательного движения. Ударная часть снабжена треугольными рифлениями, при этом использован подшипник скольжения, установленный на подвесе по всей длине внутренней поверхности ударной части.

Недостатком данного изобретения является то, что молоток имеет сложную конструкцию и сложен в изготовлении.

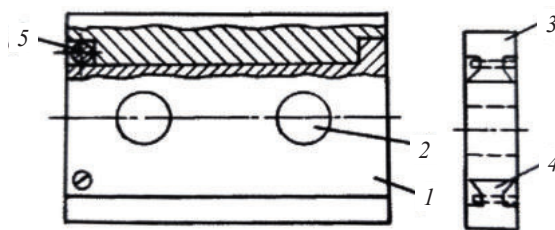


Рисунок 1 – Конструкция молотка по патенту RU 2 270 058 С2

Известно изобретение [5], в котором молоток молотковой дробилки включает в себя основание молотка 1, отверстия 2 для его шарнирной подвески и съемные рабочие грани 3. При этом съемная рабочая грань 3 имеет фигурный выступ 4 в виде ласточкиного хвоста для соединения с основанием молотка 1. Крепления съемной рабочей грани 3 и основания молотка 1 выполнены с одной стороны тупиково, а с другой фиксируются винтом 5. Схема конструкции представлена на рисунке 1.

В процессе работы молоток наносит удары по обрабатываемому материалу съемной рабочей гранью 3, выполненной из высоколегированной стали. Благодаря тому, что съемная рабочая грань 3 выполнена из высоколегированной стали, повышается долговечность и износостойкость, а так как съемная рабочая грань 3 взаимозаменяема, то появляется ремонтпригодность.

Изобретение позволяет повысить долговечность, износостойкость и ремонтпригодность молотка. Недостатком данного изобретения является то, что молоток имеет сложную в изготовлении конструкцию.

Наиболее близким к предлагаемому по технической сущности и взятый за прототип, является молоток молотковой дробилки [6], он содержит сменную вставку, имеющую форму прямоугольного параллелепипеда, которая крепится при помощи одного болта, установленного в передней грани молотка (рисунок 2). Вставка изготовлена из прочного и жесткого металла, например, из инструментальной стали, твердого сплава и т. п., имеет симметричную форму, что позволяет устанавливать ее, перевернув на 180 градусов, а для прочной фиксации вставки в молотке используется пара штифтов.

Основным недостатком данной конструкции является невозможность применения молотковой дробилки при реверсивном движении молоткового ротора, к тому же конфигурация вставки и в целом молотка не позволяет повысить эффективность измельчения зерна в молотковой дробилке.

Для повышения интенсивности измельчения в молотковой дробилке и снижения эксплуатационных затрат при ее использовании нами предлагается конструкция молотка дробилки, содержащего на противоположных гранях сменные вставки в виде прямоугольного треугольника или прямоугольной трапеции с рифлями треугольного сечения, закрепленные болтами.

Применение съемной вставки с обеих сторон молотка позволяет использовать молотковую дробилку при реверсивном режиме, что увеличивает период между техническим обслуживанием молотков в два раза, тем самым снижая эксплуатационные расходы.

Дополнительно к этому вставка имеет форму прямоугольного треугольника или прямоугольной трапеции, которая позволяет наклонить рабочую грань вставки на угол  $\alpha = 20\text{--}30^\circ$  относительно рабочей грани молотка, при помощи которого направляется зерно после удара в сторону деки или решета, что повышает эффективность разрушения зерна. К тому же рабочая грань вставки выполнена в виде рифлей с треугольным сечением, что позволяет повысить разрушающее воздействие молотка на зерно, а также эффективность измельчения.

На рисунке 3 изображен общий вид предлагаемого молотка дробилки.

Молоток состоит из основания молотка 1, отверстия 2 для его шарнирного крепления и съемных вставок 3, установленных на передних гранях молотка, которые служат в качестве рабочих граней и крепятся при помощи болта 4. Вставки выполнены в виде прямоугольного треугольника или прямоугольной трапеции с наклоном рабочей грани вставки на угол  $\alpha = 20\text{--}30^\circ$  относительно рабочей грани молотка, из твердого и прочного материала, например, из инструментальной стали, твердого сплава и т. п., а ее рабочая грань имеет рифли 5 треугольного сечения (зона А).



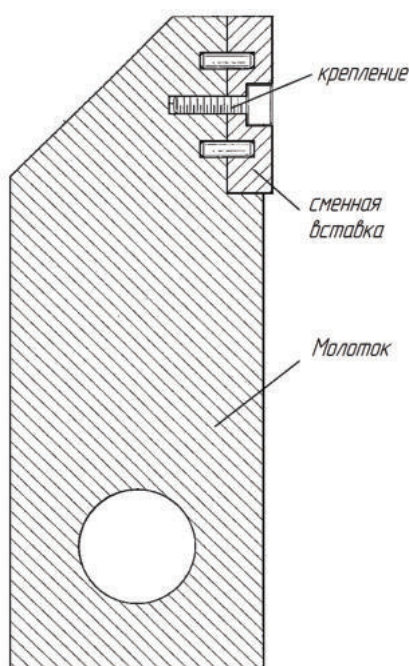


Рисунок 2 – Конструкция молотка по патенту US 0204171  
Replaceable insert for hammermill hammer

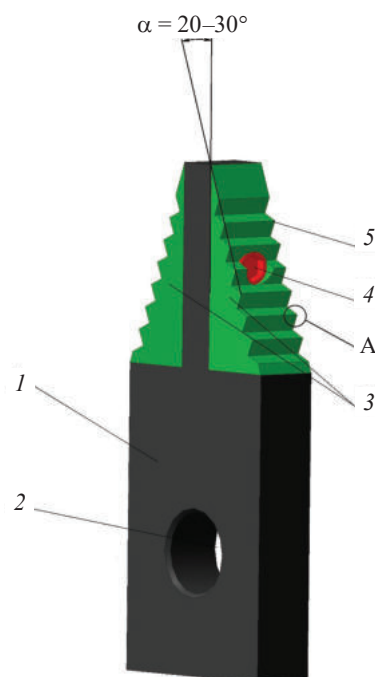


Рисунок 3 – Предлагаемая конструкция молотка

Работа молотка дробилки осуществляется следующим образом. Зерно, попадая в молотковую дробилку, попадает под удар молотков. Рабочей частью молотка являются сменные вставки 3, которые имеют более высокую прочность по сравнению с основанием молотка 1. Разрушительный эффект от удара зерна о сменную ставку 3 увеличивается при помощи рифлей 5 треугольного сечения, изготовленных на рабочей грани сменной вставки 3. После удара зерно направляется в сторону деки или решета при помощи наклона рабочей грани сменной вставки 3, что повышает эффективность разрушения зерна за счет дополнительного удара зерна об деку или решето.

### Заключение

Проведенный анализ конструкций молотков позволил определить пути совершенствования для снижения энергоемкости при работе молотковых дробилок.

Реализация предлагаемого изобретения позволяет снизить эксплуатационные расходы и повысить степень разрушения зерна при ударе с молотком, что в свою очередь повышает производительность молотковой дробилки, качество готового продукта, а также уменьшает энергозатраты на дробление зерна.

### Список использованных источников

1. Бесполденов, Р. В. Усовершенствование конструкции молотковой дробилки с вертикальным валом ротора / Р. В. Бесполденов, И. Я. Федоренко // Комбикорма. – 2022. – № 1. – С. 39–40.
2. Коношин, И. В. Основные направления и способы совершенствования конструктивно-режимных параметров молотковых дробилок / И. В. Коношин, В. М. Муртазин // Особенности технического и технологического оснащения современного сельскохозяйственного производства : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Орел, 2013. – С. 139–141.
3. Сиваченко, Л. А. Пути совершенствования ударных элементов молотковых дробилок / Л. А. Сиваченко, Н. В. Курочкин // Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в машиностроительной, дорожной и строительной отраслях : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 2023. – С. 240–243.
4. Патент RU 2567512 C1, МПК B02C 13/28. Молоток молотковой дробилки : заявлено 08.07.2014 : опубл. 10.11.2015 / Ю. А. Веригин, Д. О. Зайцев ; заявитель АлтГТУ.
5. Патент RU 2270058 C2, МПК B 02, C 13/28. Молоток молотковой дробилки : опубл. 20.06.2006 / Филатов М. И., Бабьева М. И., Петров А. А. ; заявитель Оренбургский гос. аграрный у-т.
6. Патент US 0204171 A1, B 02, C 13/28. Replaceable insert for hammermill hammer / Matt H. Craven. 25.08.2011.

С. А. Дрозд

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»  
г. Минск, Республика Беларусь

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗЕРНА ПОСЛЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА ПЕРВОЙ СТАДИИ ПРИ ДВУХСТАДИЙНОМ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ

*Аннотация.* В статье приведены теоретические и экспериментальные исследования по установлению зависимости коэффициента восстановления зерна от степени деформации на первой стадии, учитывающие степень деформации на первой стадии при двухстадийном измельчении. В результате выявлено снижение коэффициента восстановления при применении предварительного измельчения: для пшеницы – с 0,50 (для целого зерна) до 0,19 (для предварительно измельченного); для ржи – с 0,47 до 0,18; для тритикале – с 0,49 до 0,19; для ячменя – с 0,53 до 0,21; для овса – с 0,43 до 0,16. Полученные результаты показывают, что при двухстадийном измельчении предварительное измельчение на первой стадии позволяет снизить коэффициент восстановления зерна, что дает возможность увеличить количество энергии, идущей на деформацию, и тем самым повысить интенсивность измельчения на второй стадии.

*Ключевые слова:* двухстадийное измельчение, коэффициент восстановления, теоретические исследования, деформация на первой стадии, экспериментальные исследования.

S. A. Drozd

El “Belarusian State Agrarian Technical University”  
Minsk, Republic of Belarus

## RESEARCH OF THE COEFFICIENT OF GRAIN RESTORATION AFTER PRELIMINARY DEFORMATION AT THE FIRST STAGE DURING TWO-STAGE GRINDING

*Abstract.* The article presents theoretical and experimental studies to establish the dependence of the grain recovery coefficient on the degree of deformation at the first stage, taking into account the degree of deformation at the first stage during two-stage grinding. As a result, a decrease in the recovery coefficient was revealed when using preliminary grinding: for wheat from 0.50 (for whole grain) to 0.19 (for pre-crushed); for rye from 0.47 to 0.18; for triticale from 0.49 to 0.19; for barley from 0.53 to 0.21; for oats from 0.43 to 0.16. The obtained results show that with two-stage grinding, preliminary grinding at the first stage allows to reduce the grain recovery coefficient, which increases the amount of energy spent on deformation, thereby increasing the intensity of grinding at the second stage.

*Keywords:* two-stage grinding, recovery coefficient, theoretical studies, deformation at the first stage, experimental studies.

## Введение

Устойчивым фактором развития животноводства является применение отечественных высокоэнергетических комбикормов, объем которых необходимо ежегодно увеличивать для обеспечения роста производства продукции животноводства. Одним из самых важных компонентов комбикорма является зернофураж. Ключевой технологической операцией производства комбикорма является измельчение зернофуража, необходимое для обеспечения усвояемости питательных веществ животными [1]. При этом для каждого вида и возрастной группы животного необходима определенная степень измельчения [2–4].

Вместе с тем в отечественном производстве комбикормов существует ряд проблем, одна из которых – это высокие энергетические затраты, связанные, в первую очередь, с процессом измельчения зернофуража, их удельный вес – до 70 % удельных энергозатрат [1].

Исследованием процессов измельчения зернофуража, воздействия рабочих органов и создания конструкций измельчителей занимались В. А. Афанасьев, В. Н. Дашков, Н. С. Дорофеев, В. А. Елисеев, В. О. Китиков, А. В. Китун, С. И. Козлов, П. Ю. Крупенин, В. А. Одегов, Ю. А. Пономаренко, В. И. Передня, А. И. Пунько, А. А. Романович, В. Н. Савиных, А. А. Сундеев, В. И. Сыроватка, А. В. Червяков, В. А. Шаршунов, И. Н. Шило и др.

Анализ исследований в данной области показал, что одним из путей совершенствования процесса измельчения зернофуража является применение комбинированного воздействия на зерно различными рабочими органами, т. е. применение метода двухстадийного измельчения, включающего в себя поэтапный пропуск зернового материала через два конструктивно различных измельчителя [5].

На первой стадии двухстадийного измельчения осуществляется предварительное воздействие на зерно, что способствует нарушению его целостности и образованию в нем микротрещин, тем самым снижается прочность зерна. На второй ступени измельчения зерно дробится до необходимого фракционного состава, соответствующего зоотехническим требованиям.

Комбинация двух измельчителей позволяет подбирать оптимальные режимы работы на каждой из стадий для обеспечения измельчения с необходимым фракционным составом и с наименьшими удельными энергозатратами.

Измельчение зерна на второй стадии происходит в результате удара молотков молоткового ротора, удара зерна о деку или сито, соударения зерна с другими частицами. Значение ударного импульса, проявляющегося при ударе молотка о зерно, зависит не только от массы зерна и скоростей зерна и молотка до удара, но и от их упругих свойств. Данные упругие свойства при ударе характеризуются коэффициентом восстановления, исследование которого позволит обосновать конструктивные и режимные параметры оборудования для двухстадийного измельчения зерна.

Цель данной работы – установление значения коэффициента восстановления зерна после предварительной деформации на первой стадии, учитывающее степень деформации зерна на первой стадии измельчения при двухстадийном измельчении.

### Основная часть

Измельчение зерна на второй стадии происходит в результате удара молотков молоткового ротора, удара зерна о деку или сито, соударения зерна с другими частицами. Наши исследования показали, что для повышения эффективности разрушения зерна на второй стадии необходимо, чтобы зерно разрушалось именно в результате удара молотков [5].

В соответствии с исследованиями основного уравнения удара профессора В. П. Горячкина [6] процесс взаимодействия зерна с молотком разложим на два периода.

Первый период удара – встреча молотка с зерном, в результате которой зерно деформируется и когда деформация достигнет максимума, зерно приобретет скорость молотка  $v_m$  [6]. В данный период молоток передаст зерну определенное количество кинетической энергии, которая перейдет во внутреннюю потенциальную энергию зерна.

Второй период удара – увеличение скорости зерна под влиянием обратной его деформации [6], т. е. зерно под действием внутренних сил (сил упругости) начинает восстанавливать свою форму, при этом его внутренняя потенциальная энергия перейдет обратно в кинетическую, тем самым дополнительно увеличив скорость зерна. Однако при этом не вся потенциальная энергия зерна переходит в кинетическую, так как часть ее идет на пластическую деформацию зерна и его нагрев.

Количественное отношение внутренней потенциальной энергии, перешедшей в кинетическую и идущей на пластическую деформацию зерна и его нагрев, устанавливает коэффициент восстановления.

В качестве предельных случаев рассмотрим случай абсолютно упругого удара ( $k = 1$ ), при котором кинетическая энергия зерна, полученная при ударе молотком, полностью восстанавливается, т. е. деформация не происходит. И случай абсолютно неупругого удара ( $k = 0$ ), при котором удар заканчивается в первом периоде, и вся кинетическая энергия зерна идет на его деформацию и нагрев.

Следовательно, чем меньше значение коэффициента восстановления  $k$ , тем больше энергии будет идти на деформацию зерна.

Коэффициент восстановления представляет собой отношение скорости зерна в конце удара (при прямом ударе о неподвижную пластину) к скорости зерна в начале удара, его величина зависит от физических свойств зерна и определяется по формуле [7]:

$$k = \frac{|v_3 - v_c|}{|v_m - v_0|}, \quad (1)$$

где  $v_3$  – скорость зерна при расхождении с молотком после удара, м/с;  $v_m$  – скорость молотка до соударения с зерном (скорость молотка до удара и после удара примем одинаковыми), м/с;  $v_0$  – начальная скорость зерна, м/с.

При неизвестной скорости расхождения зерна с молотком коэффициент восстановления можно найти только опытным путем. Анализ исследований коэффициента восстановления зерна показал, что его значение колеблется от 0,25 до 0,57 в зависимости от вида зерновой культуры и ее влажности. Для различных видов культур с влажностью 13 % коэффициент восстановления скорости зерна составляет: для пшеницы – 0,50; ржи – 0,47; тритикале – 0,49; ячменя – 0,53; овса – 0,43 [8].

Очевидно, что при двухстадийном измельчении значение коэффициента восстановления зависит не только от его вида и влажности, но и от степени деформации зерна на первой стадии измельчения. Выдвинем гипотезу, что с увеличением степени деформации на первой стадии будет пропорциональное снижение коэффициента восстановления. При степени деформации 0 (0 % измельчения – целое зерно) значение коэффициента восстановления будет равняться приведенным ранее значениям, при степени деформации 1 (100-процентная деформация – полностью измельченное зерно) коэффициент восстановления будет равняться нулю.

На основании выдвинутой гипотезы предложим формулу для нахождения коэффициента восстановления зерна после предварительной деформации на первой стадии [9]:

$$k_\varepsilon = k - k\varepsilon, \quad (2)$$

где  $k_\varepsilon$  – коэффициент восстановления зерна после предварительной деформации на первой стадии;  $k$  – коэффициент восстановления целого зерна (при влажности 13 % коэффициент восстановления целого зерна составляет для пшеницы – 0,50; для ржи – 0,47; тритикале – 0,49; ячменя – 0,53; овса – 0,43);  $\varepsilon$  – степень деформации зерна на первой стадии измельчения (находится в диапазоне от 0 до 1; при степе деформации 0 – целое зерно; при степени деформации 1 – полностью измельченное зерно).

На основании формулы (2) построим теоретические зависимости изменения коэффициента восстановления зерна от степени деформации на первой стадии измельчения для различных видов зерна (рисунок 1).

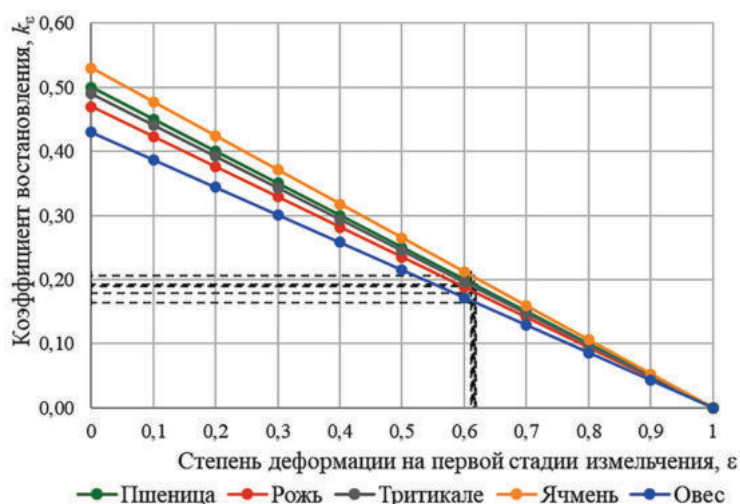


Рисунок 1 – Графики зависимости изменения коэффициента  $k_\varepsilon$  восстановления зерна от степени деформации  $\varepsilon$  на первой стадии измельчения



На основании наших исследований [5, 9] значения степени деформации на первой стадии должны составлять:  $\varepsilon = 0,6163$  – для пшеницы;  $\varepsilon = 0,6183$  мм – ржи;  $\varepsilon = 0,6133$  мм – тритикале;  $\varepsilon = 0,6114$  мм – ячменя;  $\varepsilon = 0,6174$  – овса. Данные значения подставим в формулу (3) или графическую зависимость (рисунок 1). В результате получим значения коэффициента восстановления зерна после предварительного измельчения на первой стадии: для пшеницы  $k_\varepsilon = 0,19$ ; для ржи  $k_\varepsilon = 0,18$ ; тритикале  $k_\varepsilon = 0,19$ ; ячменя  $k_\varepsilon = 0,21$ ; овса  $k_\varepsilon = 0,16$ .

Для экспериментального подтверждения выдвинутой в теоретической части гипотезы, согласно которой с увеличением степени деформации, на первой стадии будет пропорциональное снижение коэффициента восстановления зерна, были разработаны лабораторные установки: для воссоздания условий воздействия на зерно на первой стадии измельчения и для исследования коэффициента восстановления зерна.

Лабораторная установка для воссоздания условий воздействия на зерно на первой стадии измельчения приведена на рисунке 2.

Процесс сжатия зерна осуществляется пластинами, на рабочих сторонах которых нарезаны рифли, аналогичные применяемым при вальцовом измельчении (рисунок 2, б). Сжатие пластин осуществляется при помощи винтового механизма.

Контролирование степени деформации осуществляется при помощи индикатора часового типа с диапазоном измерения 0–10 мм, обладающего погрешностью 0,015 мм при применяемом диапазоне 0–3 мм (рисунок 2, в).

Индикатором часового типа фиксируется начальный размер зерна  $d_n$  (размер зерна до деформации) и конечный размер зерна  $d_k$  (размер зерна после деформации).

Конечный размер зерна определяется в соответствии с формулой:

$$d_k = d_n - \varepsilon_{\max} d_n, \quad (3)$$

где  $d_n$  – начальный размер, м;  $d_k$  – конечный размер, м.

В формулу (3) подставлялось значение начального размера зерна  $d_n$  (индивидуальное для каждого исследуемого зерна) и задавалось значение необходимой степени деформации  $\varepsilon$ , таким образом получался конечный размер зерна, до значения которого сжимались пластины (рисунок 2, б).

Сжатие зерна осуществлялось в диапазоне степеней деформации 0–0,8 с шагом 0,1 по 4 повтора. Таким образом, имитировалось предварительное измельчение зерна на первой стадии измельчения. Результат деформирования представлен на рисунке 3.

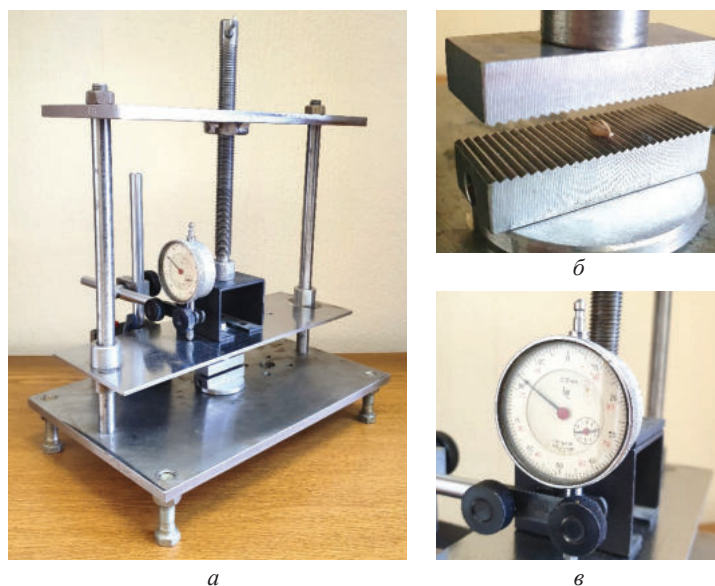


Рисунок 2 – Лабораторная установка для воссоздания условий воздействия на зерно первой стадии измельчения:

а – общий вид; б – пластины с рифлями для сжатия зерна;  
в – индикатор для контролирования степени деформации зерна



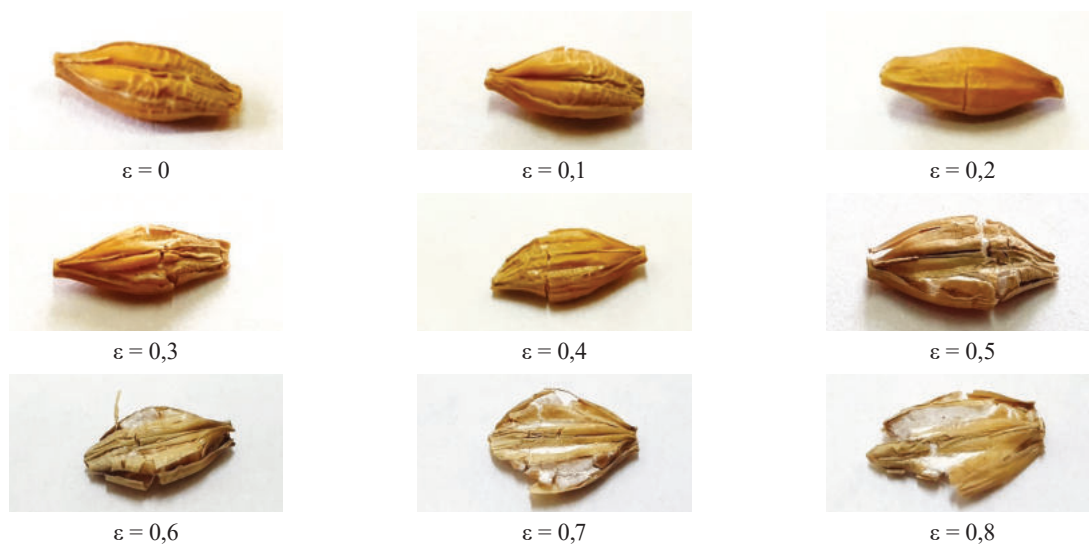


Рисунок 3 – Зерно при различной степени деформации  $\varepsilon$  на первой стадии измельчения



Рисунок 4 – Лабораторная установка для исследования коэффициента восстановления зерна:  
*a* – общий вид лабораторной установки; *б* – изображение, получаемое фотофиксацией

После воссоздания условий воздействия на зерно первой стадии измельчения проводилось исследование по установлению значения коэффициента восстановления зерна на лабораторной установке (рисунок 4).

Процесс измерения коэффициента восстановления зерна заключается в сбрасывании зерна с предварительно измеренной высоты  $H$  (принимается 1 м). В результате сброса зерно ударяется о металлическую поверхность и поднимается на высоту  $h$ .

Для измерения высоты подъема зерна  $h$  использовалась шкала для измерения линейных величин с ценой деления 1 мм и погрешностью измерения 0,5 мм.

Фиксация высоты подъема осуществляется при помощи скоростной видеокамеры со скоростью съемки 240 кадров в секунду. При анализе полученных видео выбирается кадр, на котором зерно находится в наивысшей точке подъема (рисунок 4, *б*), и при помощи вышеупомянутой шкалы проводится измерение высоты подъема зерна  $h$ .

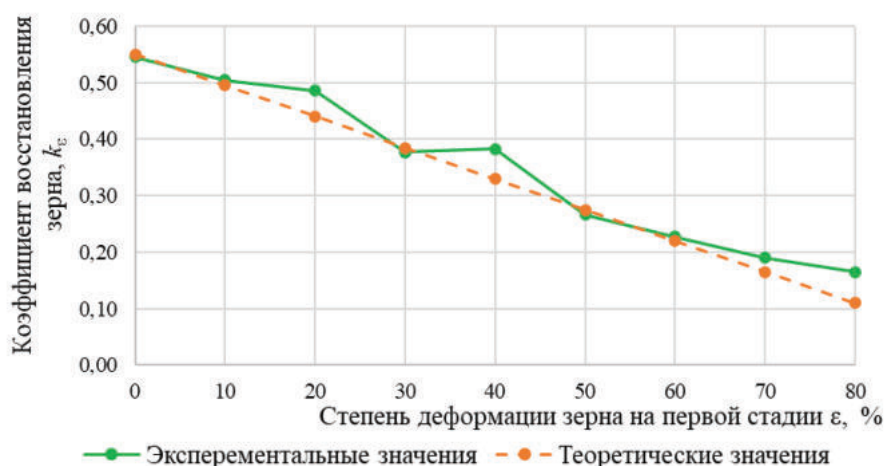


Рисунок 5 – Графики зависимости коэффициента  $k_{\epsilon}$  восстановления зерна после предварительной деформации на первой стадии от степени деформации  $\epsilon$  на первой стадии

Значение коэффициента восстановления зерна равно отношению модуля скорости  $v_k$  в конце удара к модулю скорости  $v_n$  в начале удара. В соответствии с формулами Галилея коэффициент восстановления зерна рассчитывается следующим образом [10]:

$$k = \frac{v_k}{v_n} = \frac{\sqrt{2gh}}{\sqrt{2gH}} = \sqrt{\frac{h}{H}}, \quad (4)$$

где  $H$  – высота, с которой сбрасывается зерно, м;  $h$  – высота подъема зерна, м;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ .

Для измерения коэффициента восстановления зерна эксперимент проводится по 4 повтора. В каждом повторе берется новое зерно, тем самым минимизируется погрешность, связанная с физико-механическими свойствами отдельного зерна. При каждом повторе осуществляется по 10 сбрасываний зерна, тем самым минимизируется погрешность, связанная с отклонением траектории движения зерна от вертикали.

Согласно методике исследования коэффициента восстановления зерна, после предварительной деформации на первой стадии проведена серия опытов, позволивших получить зависимость коэффициента  $k_{\epsilon}$  восстановления зерна, которым оно обладает после предварительной деформации на первой стадии от степени деформации  $\epsilon$  на первой стадии (рисунок 5).

Исследование проводилось на зерне ячменя. Для этого отбиралось целое зерно без видимых дефектов и трещин. Влажность исследуемого зерна не превышала 13 %, что соответствует влажности зерна при его хранении.

Для проверки достоверности формулы (2) для нахождения коэффициента восстановления зерна после предварительной деформации на первой стадии рассчитаем теоретическое значение коэффициента восстановления зерна после предварительной деформации на первой стадии. В качестве значения коэффициента восстановления целого зерна подставим значение, полученное экспериментальным путем при степени деформации 0 % (см. рисунок 5).

Для оценки достоверности описания экспериментальных данных предложенной теоретической зависимости рассчитаем коэффициент корреляции по следующей формуле [11]:

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}, \quad (5)$$

где  $r$  – коэффициент корреляции (находится в диапазоне от 0 до 1, где 0 – указывает на отсутствие корреляции; 1 – указывает на 100-процентную корреляцию между массивами данных);  $x$  – данные, полученные экспериментальным путем;  $y$  – данные, полученные теоретическим путем.

Подставив в формулу (5) теоретические и экспериментальные значения, получили коэффициент корреляции  $r = 0,99$ . Следовательно коэффициент детерминации составил  $R^2 = r^2 = 0,99^2 = 0,98$ . Из чего сделаем вывод, что предложенная теоретическая зависимость описывает экспериментальные данные на 98 %, что подтверждает ее достоверность. Следовательно, выдвинутая гипотеза, что с увеличением степени деформации на первой стадии будет пропорциональное снижение коэффициента восстановления, и формула (2) для нахождения коэффициента восстановления зерна после предварительной деформации на первой стадии экспериментально подтверждены.

Полученные результаты показывают, что при двухстадийном измельчении предварительное измельчение на первой стадии позволяет снизить коэффициент восстановления зерна, что дает возможность увеличить количество энергии, идущей на деформацию, и тем самым повысить интенсивность измельчения на второй стадии.

### Заключение

Получена теоретическая зависимость для определения коэффициента восстановления зерна после предварительной деформации на первой стадии. В результате выявлено снижение коэффициента восстановления при применении предварительного измельчения: для пшеницы – с 0,50 (для целого зерна) до 0,19 (для предварительно измельченного); ржи – с 0,47 до 0,18; тритикале – с 0,49 до 0,19; ячменя – с 0,53 до 0,21; овса – с 0,43 до 0,16.

Разработаны и изготовлены лабораторные установки для воссоздания процесса воздействия на зерно первой стадии измельчения и изучения коэффициента восстановления зерна после предварительной деформации на первой стадии, а также разработаны программа и методика исследования, позволяющие изучить зависимость коэффициента восстановления зерна от степени деформации на первой стадии.

Получена экспериментальная зависимость коэффициента восстановления зерна после предварительной деформации на первой стадии от степени деформации на первой стадии. Анализ зависимости позволил определить, что с увеличением степени деформации на первой стадии наблюдается пропорциональное снижение коэффициента восстановления, что подтверждает теоретическую зависимость с достоверностью 98 %. При двухстадийном измельчении предварительное измельчение на первой стадии позволяет снизить коэффициент восстановления зерна, что позволяет увеличить долю количества энергии, идущей на деформацию, тем самым повысить интенсивность измельчения на второй стадии.

### Список использованных источников

1. Афанасьев, В. А. Руководство по технологии комбикормовой продукции с основами кормления животных / В. А. Афанасьев. – Воронеж : ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт», 2007. – 389 с.
2. Сельскохозяйственная техника. Машины и оборудование для приготовления кормов. Порядок определения функциональных показателей. – ТКП 273–2010. – Введ. 01.06.2011. – Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации. – Минск, 2011. – 48 с.
3. Слипец, Н. Шесть тезисов свиноводческого конгресса в Дании / Н. Слипец, А. Терешко // Белорусское сельское хозяйство. – 2020. – № 1 (213). – 108 с.
4. Терешко, А. Стратегия кормления в свиноводстве / А. Терешко // Белорусское сельское хозяйство. – 2019. – № 11 (211). – 108 с.
5. Дрозд, С. А. Снижение удельных энергозатрат двухстадийным измельчением зернофуража при производстве комбикормов : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.20.01 / Дрозд Сергей Александрович. – Минск, 2023. – 25 с.
6. Горячкин, В. П. Собрание сочинений : в 3 т. / В. П. Горячкин. – М. : Колос, 1965. – Т. 1. – 720 с.
7. Кузнецов, С. И. Краткий курс физики : учеб. пособие / С. И. Кузнецов, К. И. Рогозин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Томск : Изд-во Томского политех. ун-та, 2013. – 215 с.
8. Глебов, Л. А. Технологическое оборудование предприятий отрасли (зерноперерабатывающие предприятия) / Л. А. Глебов. – М. : ДеЛи принт, 2006. – 815 с.
9. Дрозд, С. А. Обоснование параметров и режимов работы вальцового и вертикального молоткового измельчителя при двухстадийном способе измельчения зерна / С. А. Дрозд // Агропанорама. – 2022. – № 2. – С. 3–9.
10. Тарг, С. М. Краткий курс теоретической механики / С. М. Тарг. – М. : Высш. шк., 1986. – 416 с.
11. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / И. Н. Бронштейн. – М. : Наука, 1981. – 704 с.

**В. Е. Тарасенко<sup>1</sup>, А. А. Жешко<sup>2</sup>**<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: azeshko@gmail.com

**ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ  
АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

*Аннотация.* В статье представлены результаты анализа методов диагностирования автотракторных двигателей, описаны современные приемы контроля износа трущихся деталей в режиме реального времени и виброакустические методы, позволяющие в совокупности обеспечить индивидуализацию оценки состояния двигателя в течение срока эксплуатации. Приведены результаты комплекса научно-исследовательских работ по испытанию форсунок CRIN2 автотракторных двигателей различной наработки, а также анализа их вибрационных характеристик. Выполнены разложение исходного сигнала на уровни и регистрация амплитуд колебаний, свойственных определенным уровням разложения, что позволило составить характерные частоты колебания элементов форсунки. Предложено решение, позволяющее дополнить разработанную ранее многоканальную измерительную систему функциональными возможностями по регистрации и оценке процесса индицирования двигателя.

*Ключевые слова:* диагностирование, двигатель, метод, износ, датчик, сигнал, форсунка, спектр, стенд.

**V. E. Tarasenko<sup>1</sup>, A. A. Zheshko<sup>2</sup>**<sup>1</sup>EI "Belarusian State Agrarian Technical University"

Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>RUE "SPC NAS of Belarus for Agricultural Mechanization"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: azeshko@gmail.com

**EFFECTIVE METHODS AND MEANS OF DIAGNOSING AUTOTRACTOR ENGINES**

*Abstract.* The article presents the results of the analysis of diagnostic methods for automotive and tractor engines, describes modern methods for monitoring wear of rubbing parts in real time and vibroacoustic methods that together allow for individualization of the engine condition assessment during its service life. The article presents the results of a set of research works on testing CRIN2 injectors of automotive and tractor engines of various operating hours, as well as an analysis of their vibration characteristics. The original signal is decomposed into levels and the oscillation amplitudes characteristic of certain decomposition levels are recorded, which made it possible to compile characteristic oscillation frequencies of the injector elements. A solution is proposed that allows supplementing the previously developed multichannel measuring system with functional capabilities for recording and assessing the engine indexing process.

*Keywords:* diagnostics, engine, method, wear, sensor, signal, injector, spectrum, stand.

В мировой практике создания и эксплуатации машин актуальными остаются проблемы обеспечения надежности их работы, безразборного контроля и прогнозирования технического состояния. Увеличение ресурса и повышение надежности машин и механизмов предполагают переход на эксплуатацию технических объектов по фактическому состоянию, а это возможно только при наличии эффективных методов и средств диагностирования [1].

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что внедрение современных средств диагностирования является одним из важнейших факторов повышения экономической эффективности использования машин и механизмов в народном хозяйстве [1–14].



Виброакустические	
Виды методов	Области применения
Спектральный анализ вибрации: – частотный анализ; – спектральный анализ; – анализ ударных импульсов; – кепстральный анализ; – анализ спектра вибрации по огибающей; – фазовое сравнение сигналов вибрации; – амплитудно-временной анализ сигналов вибрации; – корреляционный анализ взаимных спектров вибрации; – определение акустической эмиссии; – статистический анализ вибрационных характеристик; – модуляция вибрационных процессов; – амплитуда вибрации пик-фактора; – величина эксцесса; – резонансная частота узла (детали), механизма, газовых и гидравлических потоков; – сопоставление спектров; <b>– анализ вейвлетных образов сигналов</b>	Исследование динамических характеристик конструкции, технологий производства и технического состояния двигателей в эксплуатации  Высокая информативность вибрационных сигналов на изменение структурных, функциональных и динамических состояний деталей машин  Высокая универсальность, чувствительность и избирательность вибрационного сигнала к параметрам механических, гидравлических, газо- и аэродинамических, электрических и магнитных систем  Большой объем информации в одном измерении вибрации, высокая скорость диагностирования, позволяющая автоматизировать контроль технического состояния  Нормирование вибрации для контроля уровня проектирования, качества изготовления и эксплуатации
Энергетические и гидрогазоаэродинамические методы	
Механический КПД Индикаторные показатели (мощность, КПД, расход топлива) Эффективная мощность Неравномерность работы цилиндров Скорость и неравномерность вращения коленчатого вала Компрессионные свойства цилиндров Внутрцикловое изменение (колебание) угловой скорости коленчатого вала Изменение крутящего момента и угловой скорости вала по углу поворота при равномерной работе цилиндров Амплитудно-фазовые параметры (осциллограммы) изменения напряжения, тока, сопротивления в первичной и вторичной цепях (переходных процессов) зажигания, давления в цилиндрах	Диагностика ЦПГ, КШМ, элементов топливной системы (насосов, гидравлического аккумулятора, форсунок, системы сгорания и расхода топлива)  Доводка конструкции двигателей до заданных технических характеристик, оценка качества ремонта и эксплуатации отдельного двигателя и в составе транспортного средства

Рисунок 1 – Отдельные группы методов диагностирования автотракторных двигателей (виброакустические, энергетические и гидрогазоаэродинамические) с приведенным подвидом анализа вейвлетных образов сигналов

Достаточно полная классификация методов диагностирования автотракторных двигателей изложена в работах В. Д. Мигалы [2, 3], где рассмотрены интеллектуальные и инструментальные методы, анализ которых позволяет отметить 12 групп методов диагностирования, позволяющих формировать массив данных с высокой степенью достоверности. Наибольший интерес представляют группы методов контроля износа трущихся деталей и смазки, виброакустические, энергетические и гидрогазоаэродинамические. В группе виброакустических методов выделены такие виды, как частотный и спектральный анализ, корреляционный анализ взаимных спектров вибрации и сопоставление спектров. Исследования последних лет авторов статьи позволили привести в данную группу вид – анализ вейвлетных образов сигналов (рисунок 1), позволяющий обеспечить высокую достоверность при идентификации дефектов в узлах и агрегатах дизельных двигателей.

В ходе анализа литературных данных [1, 8, 11] установлены шесть специальных методов диагностирования зарождающихся дефектов. Таковыми являются: метод ударных импульсов; метод спектрального анализа амплитудной огибающей вибросигнала на резонансной частоте датчика «резонансный метод»; метод формирования  $n$ -мерного вектора кратных гармоник спектра огибающей вибросигнала на резонансной частоте узла механизма; метод формирования  $n$ -мерного вектора кратных гармоник спектра огибающей вибросигнала в окрестностях основных частот возбуждения механизма; обнаружение зарождающихся дефектов по величине коэффициента эксцесса; метод выделения когерентной составляющей.

Известна малогабаритная система встроенного контроля «АИДА» [4, 5] для определения степени износа кривошипно-шатунного механизма (КШМ) и цилиндропоршневой группы (ЦПГ) ДВС в режиме реального времени и прогнозирования их остаточного ресурса. Диагностически-



ми признаками в данном случае являются концентрация, размер и материал продуктов износа. Они позволяют определить возможные места и стадии износа, а изменение концентрации показывает интенсивность развития неисправностей. При этом происходит осаждение из масла продуктов износа (Fe, Pb, Sn) в рабочий объем датчика с определением их состава и массы электронным блоком. Данная система имеет высокую чувствительность (около 0,0001 г массы частиц износа в рабочем объеме датчика), большой диапазон регистрации металлов и сплавов и высокую надежность.

Комплексные исследования образцов свежих и отработанных масел позволили разработать интеллектуальные алгоритмы оценки состояния масла (ОСА), которые способны определять его состояние на основе параметров, непосредственно измеряемых в масле (динамическая вязкость, удельная плотность, диэлектрическая проницаемость, проводимость, уровень масла и его температура). При этом используются новые комбинированные пьезоэлектрические датчики (на основе монокристаллического кварца), основным элементом которых является камертон, так называемые камертонные датчики [15–19]. Электродами со всех сторон поверхности вызывают периодическую и упругую деформацию материала корпуса под воздействием электрического переменного напряжения. Эта вибрация создает электрический переменный ток, который течет через электроды. Электрический импеданс, рассматриваемый как соотношение между возбуждающим переменным напряжением и результирующим переменным током, является функцией, зависящей от стимулирующей частоты, свойств упругого материала, гидродинамических свойств поверхности датчика и свойств окружающей среды. Для измерения механического демпфирования и массовой нагрузки камертона, колеблющегося в масле, этот резонатор работает в диапазоне его резонансной частоты. Благодаря выбранной конструкции эта частота у рассматриваемого датчика расположена в нижнем диапазоне (кГц). Несмотря на объемные колебания камертона, амплитуда которого составляет около 100 нм, он устойчив к внешним возмущениям, таким как механические вибрации, удары по креплению датчика или акустический шум, благодаря особой сбалансированной конструкции.

Для анализа изменения резонансной кривой используется электромеханическая модель. Комплексный импеданс изгибных резонаторов (например, датчика камертона) можно смоделировать с помощью эквивалентной электрической схемы. Формулы модели содержат переменные: динамическая вязкость  $\eta$ , удельная плотность  $\rho$ , диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  и электрическая проводимость  $\sigma$  окружающей среды. С помощью алгоритма нелинейной оптимизации эти параметры вычисляются и дают прямую информацию о параметрах физического состояния.

В отличие от общепринятых концепций и алгоритмов оценки состояния масла благодаря последним разработкам стало возможным за счет интеграции всей системы аппаратного и программного обеспечения управления состоянием масла мобильных машин более конкретно и точно адаптировать интервалы технического обслуживания и замены масла к двигателю машины и режиму его эксплуатации.

Существенным преимуществом рассмотренного алгоритма определения состояния масла с использованием пьезоэлектрических датчиков является многомерный анализ его параметров, при котором они нелинейно комбинируются для прогнозирования состояния масла. Таким образом можно определить важные свойства масла, такие как содержание сажи, воды или разбавление дизельного топлива. Однако данные алгоритмы и технические средства не позволяют определять места и стадии активного изнашивания деталей двигателя, так как в масле не ведется учет продуктов износа (Fe, Pb, Sn) с определением их состава и массы электронными средствами. Не осуществляется контроль интенсивности развития неисправностей.

Исследования многих отечественных и зарубежных ученых позволяют утверждать то, что вибрации являются носителями уникальной информации о тончайших нюансах поведения конструкции и действующих в ней рабочих процессов. По скорости реакции на любые изменения состояния вибрациям нет равных среди других сопровождающих физических явлений. Структуры вибраций указывают на свое происхождение, т. е. демаскируют дефект. После устранения дефекта вибрации существенно ослабевают [6].

Вибросигналами оценивают зазоры и некоторые дефекты сопряжений. Но и один механизм эмиссирует широкий спектр реверберирующих сигналов от десятка Гц до сотен кГц и МГц, т. е. образуется широкополосный виброакустический фон, в котором полезный сигнал скрыт. В нем выделить нужный сигнал затруднительно, отношение полезного вибросигнала к фону порой невелико, добротность диагностики порой невысока [7].

При виброконтроле получают разнообразные, порой трудно понимаемые спектры, осциллограммы и другие характеристики сигналов, хотя некоторые из них имеют информативные качественные признаки и количественные характеристики. Поэтому, чтобы из вибрационного фона выделить сигнал от одного механизма при работе в агрегате нескольких, требуются установка самого информативного режима работы объекта контроля, специальная установка вибродатчиков, частотная и временная селекция сигналов в виброаппаратуре [7].

Известно, что все узлы имеют собственную резонансную частоту. На этом основан метод вибродиагностирования, предложенный В. И. Соловьевым, В. А. Аллилуевым, В. И. Беляевым. При резонансном вибродиагностировании осуществляется контроль слабой амплитуды вибросигнала в резонансной частоте пьезоакселерометра. Географическая, фазовая (временная), частотная и резонансная селекции при получении вибросигнала позволяют оценивать форму и амплитуду сигнала.

Анализ литературных источников [1, 6, 8–11, 15–18] позволил установить характерные фазы проявления дефектов для четырехтактного двигателя [14], а также спектральные области проявления дефектов [14].

В рамках гранта Президента Республики Беларусь в сфере науки на 2024 г. в лаборатории технического сервиса топливной аппаратуры и агрегатов гидросистем БГАТУ выполнен комплекс работ по испытанию форсунок CRIN2 автотракторных дизелей различной наработки (в том числе и новой форсунки) и последующему анализу их вибрационных характеристик.

На стенде CR-jet 4E (Dieselland) с использованием разработанной многоканальной измерительной системы с гибкой структурой испытаны форсунки CRIN2 Bosch (типовые номера 0445120141 и 0445120074) при давлении впрыска в них 158, 500 и 1 600 бар [7, 12]. При этом вибродатчики MPU9150 крепили на форсунках (рисунок 2), а для акустики использовали цифровой миниатюрный MEMS-микрофон INMP621.

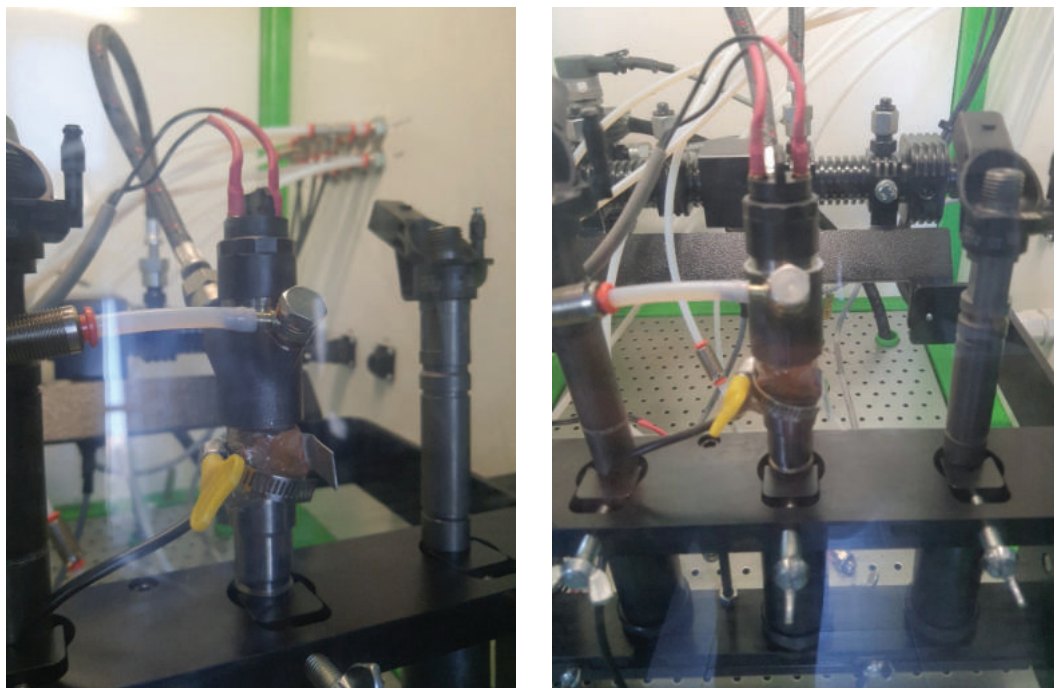


Рисунок 2 – Испытуемая форсунка CRIN2 смонтирована на диагностическом стенде CR-jet 4E (Dieselland), датчик вибрации дополнительно прижат к корпусу форсунки стяжным хомутом

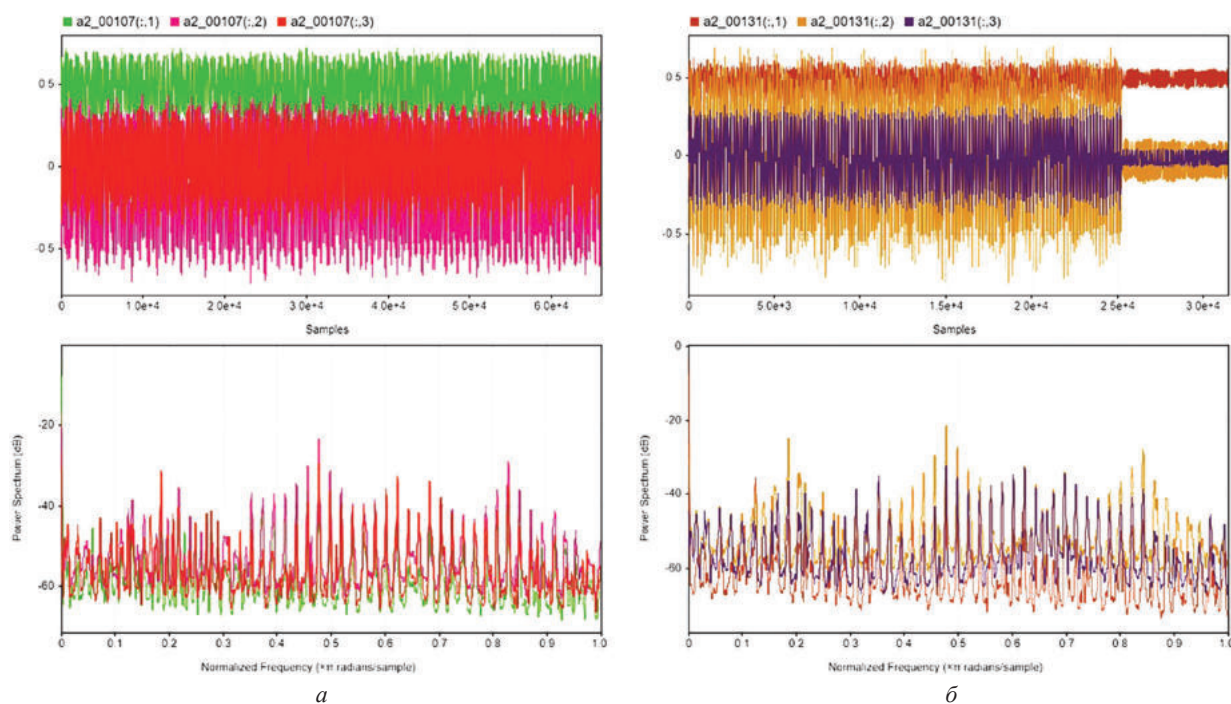


Рисунок 3 – Результаты тестирования форсунки CRIN2 в режиме холостого хода LL: *а* – исправная форсунка (повторное испытание); *б* – форсунка со следами умеренного износа посадочной поверхности клапана

Разработанная измерительная система отображает в режиме реального времени вибросигналы относительно системы координат  $x_{uz}$ , создает АЧХ быстрым преобразованием Фурье. Также система сохраняет сигналы для их последующей вейвлет-обработки. Изначально они записывались в бинарные файлы с расширением `bin`, а позднее – в `wav`-файлы с фиксацией момента перехода на следующий тест-план. Фиксировали температуру форсунок, а их шум записывали в `wav`-файл [7].

Разложение исходного сигнала на уровни и регистрация амплитуд колебаний, характерных для определенных уровней разложения, позволяют составить характерные частоты колебания элементов форсунки. Изучение виброакустических характеристик рассматриваемых форсунок (как новых, так и с наработкой) и регистрация изменения характерных частот в зависимости от наработки (рисунок 3) позволяют диагностировать техническое состояние каждой рассматриваемой форсунки и прогнозировать ее ресурс. Методами обработки сигнала могут служить как спектральный анализ, так и вейвлет-преобразование.

В настоящее время осуществима регистрация процесса индицирования двигателя в режиме реального времени, связанного с записью быстроизменяющихся давлений в его цилиндрах и внутренних полостях. Это позволяет с наибольшей достоверностью определять среднее индикаторное давление и индикаторную мощность двигателя, оценивать особенности отдельных рабочих процессов, механические потери на трение, показатели политроп сжатия и расширения, жесткость работы двигателя и иные закономерности.

В связи с этим упомянутая выше многоканальная измерительная система дополняется функциональными возможностями по регистрации и оценке процесса индицирования.

Также проводятся работы по оценке достаточно нового метода контроля давлений в цилиндрах двигателя и внутренних полостях с помощью свечей накаливания с датчиками давления в цилиндре. Для экспериментальных работ приняты высокотехнологичные свечи BERU 0103010907, серийно устанавливаемые на автомобили OPEL.

## Заключение

Таким образом, при оценке состояния систем и механизмов двигателя наиболее результативным и достоверным является комплексный подход, когда данные, к примеру, виброакустических наблюдений дополняются и сопоставляются с данными методов контроля износа конкретных

трущихся деталей и результатами индицирования. За счет управления состоянием масла мобильных машин в режиме реального времени стало возможным точно адаптировать интервалы замены масла в соответствии с его фактическим состоянием к соответствующему мобильному средству и режиму его эксплуатации.

Методами обработки сигнала могут служить как спектральный анализ, так и вейвлет-преобразование. В дальнейших исследованиях целесообразно сочетание разработанного и известных методов диагностирования автотракторных двигателей.

### Список использованных источников

1. Балицкий, Ф. Я. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов / Ф. Я. Балицкий, М. А. Иванова, А. Г. Соколова [и др.]. – М. : Наука, 1984. – 119 с.
2. Мигаль, В. Д. Техническая диагностика автомобильных двигателей : учеб. пособие в 3 т. / В. Д. Мигаль. – Харьков : Майдан, 2014. – Т. 1 : Объекты и методы диагностирования. – 459 с.
3. Мигаль, В. Д. Техническая диагностика автомобильных двигателей : учеб. пособие в 3 т. / В. Д. Мигаль. – Харьков : Майдан, 2014. – Т. 2 : Неисправности, параметры и средства диагностики. – 403 с.
4. Матвеевский, Б. Р. Метод контроля износа узлов трения / Б. Р. Матвеевский, В. Р. Матвеевский // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2011, № 1. – С. 14–16.
5. Патент Российская Федерация МПК (2006.01) G01N 3/56. Устройство для контроля износа пар трения : № 77 438 U1 : заявлено 30.04.2008 : опубл. 20.10.2008 / Б. Р. Матвеевский, В. Р. Матвеевский.
6. Коновалов, А. И. Диагностируем на «Дельфине» : метод. пособие / А. И. Коновалов, О. Н. Лукьяненко. – Луганск, 2006. – 100 с.
7. Диагностирование многоканальной измерительной системой с гибкой структурой форсунок фирмы BOSCH / А. А. Жешко, В. Е. Тарасенко, О. Ч. Ролич, А. В. Дунаев // Технический сервис машин. – 2021. – Т. 59, № 1 (142). – С. 55–64.
8. Лазерная виброакустическая диагностика дефектов многослойных конструкций : учеб. пособие / В. И. Мордасов, Н. А. Сазонникова, С. А. Сорокина, О. В. Шулепова. – Самара : Изд-во Самар., гос. аэрокосм., ун-та, 2008. – 80 с.
9. Герики, П. Б. Анализ виброакустических характеристик двигателей внутреннего сгорания / П. Б. Герики // Горные машины и оборудование. – 2014. – № 2. – С. 15–18.
10. Щеглов, В. А. О возможности диагностики цилиндро-поршневой группы ДВС методом частотно-амплитудного анализа сигнала вибрации с использованием вейвлет-анализа / В. А. Щеглов // Вестник науки и образования Северо-Запада России. – 2015. – Т. 1, № 3. – С. 1–8.
11. Ширман, А. Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования / А. Р. Ширман, А. Б. Соловьев. – М. : Наука. – 1996. – 276 с.
12. Результаты диагностирования форсунки CRIN2 дизеля трактора «Беларус-3522.5» / В. Е. Тарасенко, О. О. Мухля, М. Д. Бобриков, Д. Д. Попека // Проблемы и перспективы развития инженерной науки в АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 65-летию работы кафедры эксплуатации и ремонта машин инженерного факультета и 90-летию д.т.н., профессора, почетного работника высшего профессионального образования Российской Федерации Зорина Александра Ивановича ; Ижевск, 13–15 февр. 2024 г. – Ижевск : УдГАУ, 2024. – С. 47–53.
13. Тарасенко, В. Е. Анализ вибрационных характеристик форсунок CRIN2 автотракторных дизелей / В. Е. Тарасенко // Аграрное образование и наука для агропромышленного комплекса : материалы республик. науч.-практ. конф. Белорусская агропромышленная неделя БЕЛАГРО-2024 ; редкол.: В. А. Самсонович (гл. ред.) [и др.]. – Горки : БГСХА, 2024. – С. 254–257.
14. Тарасенко, В. Е. Использование методов функционального диагностирования автотракторных двигателей / В. Е. Тарасенко // Современные проблемы и пути развития технического сервиса в АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф. ; Минск, 5–6 июня 2024 г. ; редкол.: Л. М. Акулович [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2024. – С. 49–55.
15. Jorge Duarte-Forero. Failure analysis in single-cylinder diesel engine SK-MDF300 through acoustic emissions / Duarte-Forero Jorge, Sergio Andrés Ramón-Ramón, Guillermo Valencia-Ochoa // Respuestas, Journal of Engineering Sciences. – 2020. – 25(2) May-August. – P. 83–90.
16. Elamin, Fathi. Fault Detection and Diagnosis in Heavy Duty Diesel Engines Using Acoustic Emission / Fathi Hassen Elamin // Doctoral thesis, University of Huddersfield. – November 2013. – 265 p.
17. Ribbens, William. Incipient failure detection in bus engine components / William B. Ribbens, Mitra Naaseh // Center for Transit Research and Management Development University of Michigan Transportation Research Institute. – MARCH, 1987. – 71 p.
18. Chaitidis, G. D. Vibration Analysis of a Common Rail Diesel Engine using Biodiesel: A Case Study / G. D. Chaitidis, T. S. Karakatsanis, V. Kanakaris [et al.] // Journal of Engineering Science and Technology Review. – 12 (5). – 2019. – P. 167–175.
19. Dobrinski, H. Micro-sensors for automotive liquid properties monitoring (D5.4) / Heiko Dobrinski, Torsten Eggers, Jörg Stürmann [and others] // SENSOR + TEST Conferences. – 2011, SENSOR Proceedings. – P. 612–617.



**Г. И. Гедроить, С. В. Занемонский, Т. А. Варфоломеева, А. С. Новик**

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*E-mail: zanemanoff@mail.ru*

## **ОЦЕНКА УРОВНЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОЧВУ ПРИ СДВАИВАНИИ КОЛЕС ТРАКТОРА**

*Аннотация.* В статье приведена методика для определения показателей взаимодействия шин с жестким и деформируемым опорным основанием, представлены экспериментальные данные. Представлен сравнительный анализ уровня воздействия одинарных и сдвоенных шин на почву.

*Ключевые слова:* трактор, шина, колесо, почва, давления, напряжения, влажность почвы.

**G. I. Gedroit, S. U. Zaniamonski, T. A. Varfolomeyeva, A. S. Novik**

*El "Belarusian State Agrarian Technical University"*

*Minsk, Republic of Belarus*

*E-mail: zanemanoff@mail.ru*

## **ASSESSMENT OF THE LEVEL OF IMPACT ON THE SOIL WHEN DOUBLING TRACTOR WHEELS**

*Abstract.* The article presents a methodology for determining the indicators of interaction of tires with a rigid and deformable support base, and experimental data. A comparative analysis of the level of impact of single and dual tires on the soil is presented.

*Keywords:* tractor, tire, wheel, soil, pressure, voltage, soil moisture.

### **Введение**

Проблема воздействия ходовых систем на почву сельскохозяйственной техники возникла одновременно с появлением ее на полях. Первые тракторы имели большую удельную массу, выпускались на металлических колесах сравнительно небольшого размера. Фермеры обратили внимание на то, что они сильно уплотняют почву.

Негативное воздействие ходовых систем на почву проявляется в изменении ее физических, механических, биологических свойств [1, 2]. По обобщенным данным, от воздействия колес и гусениц современной техники теряется 5–30 % урожайности сельскохозяйственных культур [3].

При решении задач оптимизации ходовых систем, определении размеров шин, соответствующих допустимым нормам воздействия на почву, важным является получение и обобщение экспериментальных данных по определенным группам шин.

### **Основная часть**

В качестве нормируемых показателей при выборе ходовых систем для современной сельскохозяйственной техники согласно ГОСТ 26955–86 [4] приняты максимальные давления на почву и нормальные напряжения в почве на глубине 0,5 м в зависимости от сезона и влажности почвы, выраженной в долях наименьшей влагоемкости почвы (НВ). При расчете максимального давления на почву ходовых систем агрегатов по ГОСТ 26953–86 [5] вводятся поправки, зависящие от типа почвы ( $I_1$ ), нагрузки на единичный движитель ( $I_2$ ), режима работы движителя ( $I_3$ ), количества движителей, перемещающихся по одному следу ( $I_4$ ), высоты протектора ( $I_5$ ). В итоге окончательная норма по максимальному давлению  $q_n$  на почву рассчитывается для каждого движителя по формуле [4, 6]:



$$q_n = q_n + q_n(I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5), \quad (1)$$

где  $q_n$  – нормируемое максимальное давление на почву, кПа.

Для одиночного колесного движителя максимальное давление на почву [6]:

$$q_k = q_{кр} K_2, \quad (2)$$

где  $q_{кр}$  – среднее давление колесного движителя на почву, кПа;  $K_2$  – коэффициент продольной неравномерности распределения давления по площади контакта шины ( $K_2 = 1,5$ ).

Среднее давление колесного движителя на почву находим из выражения:

$$q_{кр} = \frac{G_k}{10^3 F_{кп}}, \quad (3)$$

где  $G_k$  – статическая нагрузка на почву единичным колесным движителем, Н;  $F_{кп}$  – площадь контакта шины с почвой, м<sup>2</sup>.

Площадь контакта шины колеса с почвой, приведенная к условиям работы на почвенном основании, равняется:

$$F_{кп} = F_k K_1, \quad (4)$$

где  $F_k$  – контурная площадь контакта протектора шины на жестком основании, м<sup>2</sup>;  $K_1$  – коэффициент, зависящий от наружного диаметра колеса [5].

Максимальные нормальные напряжения в почве  $\sigma_{0,5}$  (кПа) на глубине  $h = 0,5$  м вычисляли по формуле:

$$\sigma_{0,5} = 0,637 q_{кр} \left[ \arctg \frac{ab}{h\sqrt{a^2 + b^2 + h^2}} + \frac{hab(a^2 + b^2 + 2h^2)}{(a^2 + h^2)(b^2 + h^2)(\sqrt{a^2 + b^2 + h^2})} \right], \quad (5)$$

где  $a$  и  $b$  –  $\frac{1}{2}$  длины и ширины площади контакта, м.

Видим, что за основу для расчета нормируемых показателей по формулам 1–5 взяты контурная площадь протектора и размеры пятна контакта на жестком основании. Для тракторов «Беларус» большую проблему представляют колеса задних мостов [6]. При этом для повышения проходимости часто используют сдвигание колес этих мостов [3, 6].

Нами выполнены экспериментальные исследования по определению размеров и площади пятна контакта сдвоенных шин ведущих колес трактора «Беларус-2022.5» (рисунок 1).

В ходе испытаний трактор был установлен на ровную площадку, положение колес соответствовало прямолинейному движению трактора. На грунтозацепы шин нанесено красящее вещество (моторное масло). Отпечаток контурной площади шин получен при многократном опускании



Рисунок 1 – Трактор «Беларус-2022.5»: а – вид спереди; б – вид сзади



Рисунок 2 – Определение контурной площади пятна контакта шин трактора «Беларус-2022.5» на жестком основании: 1 – домкрат; 2 – основное внутреннее колесо; 3 – дополнительное наружное колесо; 4 – красящее вещество на грунтозацепах протектора; 5 – миллиметровая бумага; 6 – отпечаток пятна контакта

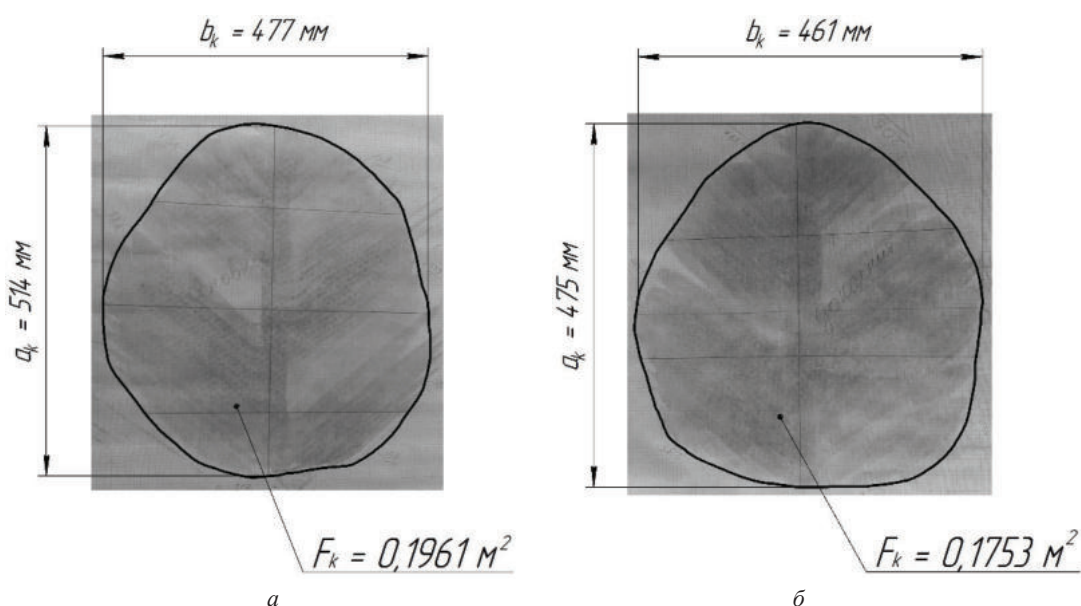


Рисунок 3 – Площадь пятна контакта основного внутреннего колеса составляет  $F_k = 0,1961 \text{ м}^2$  (а); дополнительного наружного колеса –  $F_k = 0,1753 \text{ м}^2$  (б)

колес (до полного заполнения отпечатка) с помощью домкрата и отсутствии смещения трактора в горизонтальной плоскости в опущенном положении (рисунок 2). При этом после каждого опускания колесо поворачивали на угол, соответствующий ширине грунтозацепов протектора. Также снимались отпечатки по выступам протектора.

Получен четкий отпечаток без подтеков. Контурную площадь пятна контакта определяли очерчиванием отпечатка плавной кривой (рисунок 3).

Нагрузку на движители определяли с помощью секционных весов.

Результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры трактора «Беларус-2022.5» и пятна контакта шин на жестком основании

Характеристика	«Беларус-2022.5»
Комплектация трактора и условия проведения испытаний	
Эксплуатационная масса трактора на сдвоенных колесах с корзиной, кг	9990
Модель двигателя	Д-260
Номинальная мощность двигателя, кВт	156

Типоразмер шин: – переднего ведущего моста – заднего ведущего моста	420/70R24 (мод. Бел-90) 580/70R42 (мод. Бел-126)
Давление воздуха в шинах, МПа: – передние колеса – задние внутренние основные колеса – задние наружные дополнительные колеса	0,14 0,11 0,10
Передний балласт, кг	450
Результаты испытаний	
Основное внутреннее колесо: – контурная площадь пятна контакта, м <sup>2</sup> – длина отпечатка пятна контакта, мм – ширина отпечатка пятна контакта, мм – площадь отпечатка по выступам рисунка протектора, м <sup>2</sup>	0,1961 514 477 0,048
Дополнительное наружное колесо: – контурная площадь пятна контакта, м <sup>2</sup> – длина отпечатка пятна контакта, мм – ширина отпечатка пятна контакта, мм – площадь отпечатка по выступам рисунка протектора, м <sup>2</sup>	0,1753 475 461 0,045

Отметим, что для идеализированной шины используют формулы Хедекеля [7, 8]. Принимается, что среднее давление в контакте равняется давлению воздуха в шине, площадь и размеры пятна контакта определяются по формулам для эллипса. В действительности из-за жесткости каркаса шин, отличия формы шины от тора, реальные параметры контакта отличаются от идеализированных. Так, для автомобильных шин длина пятна контакта составляет 0,75–0,85 длины пятна контакта идеализированной шины [8].

Для шин сельскохозяйственной техники на основании экспериментов предложены формулы [7]:

$$a_k = 2k_L \sqrt{2R\lambda - \lambda^2} \approx 2k_L \sqrt{2R\lambda}, \quad (6)$$

$$b_k = 2k_B \sqrt{2r\lambda - \lambda^2} \approx 2k_B \sqrt{2r\lambda}, \quad (7)$$

$$F_k = \frac{\pi}{4} \varepsilon a_k b_k \approx 2\pi k_L k_B \lambda \varepsilon \sqrt{Rr}, \quad (8)$$

где  $a_k$ ,  $b_k$  – соответственно длина и ширина пятна контакта на жестком основании;  $\varepsilon$  – коэффициент эллипсовидности пятна контакта, показывает во сколько раз контурная площадь пятна контакта отличается от расчетной по формуле для эллипса;  $k_L$  – коэффициент длины пятна контакта;  $k_B$  – коэффициент ширины пятна контакта;  $\lambda$  – деформация шины под действием нормальной нагрузки;  $R$ ,  $r$  – соответственно радиусы шины и беговой дорожки протектора.

Средние значения  $k_L$ ,  $k_B$ ,  $\varepsilon$  составляют 0,78; 0,81; 1,07 соответственно.

На рисунке 3 видим, что в нашем случае реальные отпечатки отличаются от эллипса. При значениях размеров контакта согласно таблице 1 для внутреннего и наружного колеса расчетные значения контурных площадей контакта по формулам для эллипса составляют 0,1925 м<sup>2</sup> и 0,1719 м<sup>2</sup>, т. е. реальные площади выше названных расчетных в 1,02 раза.

Значение коэффициента насыщенности контакта [9] согласно данным таблицы 1 – 24,5 % для внутреннего колеса и 25,7 % для наружного колеса.

На основе приведенных выше формул (1–5) определены нормируемые показатели воздействия на почву трактора «Беларус-2022.5» со сдвоенными и одинарными задними колесами (таблица 2).

Таблица 2 – Показатели воздействия движителей трактора «Беларус-2022.5» с шинами 580/70R42 на почву

Задние колеса трактора	$G_k$ , кН	$F_k$ , М <sup>2</sup>	$F_{кп}$ , М <sup>2</sup>	$q_{ксп}$ , кПа	$q_k$ , кПа	$\sigma_{0,5}$ , кПа
Сдвоенные	39,94	0,3694	0,4063	98,3	147,5	38,5
Одинарные	33,42	0,2120	0,2330	143,2	215,0	45,7
Сдвоенные (по выступам протектора)	39,94	0,0930	0,1023	390,4	585,6	–

Для одинарных колес результаты получены расчетным путем по методике при давлении воздуха в шинах 120 кПа [7].

Видим, что максимальные давления на почву трактора «Беларус-2022.5» на сдвоенных шинах ниже, чем у трактора на одинарных шинах в 1,5 раза, а напряжения в почве соответственно в 1,2 раза. Следовательно, эффект от сдвигания колес проявляется в основном в пахотном слое почвы. Абсолютные значения указанных параметров высокие.

Сравним полученные результаты с допустимыми нормами по максимальному давлению движителей тракторов на почву, рассчитанные с учетом формулы (1) [6] (таблица 3).

Таблица 3 – Нормы максимальных давлений на почву для тракторов 4×4 (кПа)

Влажность почвы	Суглинистая почва			Супесчаная почва		
	Нагрузка на единичный движитель, кН					
	≤ 8	> 8 ≤ 16	> 16	≤ 8	> 8 ≤ 16	> 16
Весенний период						
Св. 0,9 НВ	80	80	80	96	96	96
Св. 0,7 НВ до 0,9 НВ вкл.	125	115	100	150	138	120
Св. 0,6 НВ до 0,7 НВ вкл.	150	138	120	180	165,6	144
Св. 0,5 НВ до 0,6 НВ вкл.	188	173	150	225	207	180
0,5 НВ и менее	225	207	180	270	248,4	216
Летне-осенний период						
Св. 0,9 НВ	100	100	100	120	120	120
Св. 0,7 НВ до 0,9 НВ вкл.	150	138	120	180	166	144
Св. 0,6 НВ до 0,7 НВ вкл.	175	161	140	210	193	168
Св. 0,5 НВ до 0,6 НВ вкл.	225	207	180	270	248	216
0,5 НВ и менее	263	242	210	315	290	252

Трактор «Беларус-2022.5» на сдвоенных колесах обеспечивает допустимое максимальное давление на почву на супесчаной почве в весенний период при влажности почвы 0,5 НВ и менее, в летне-осенний период на суглинистой почве влажностью 0,5–0,6 НВ и на супесчаной – 0,6–0,7 НВ. На одинарных шинах допустимое максимальное давление обеспечивается только на супесчаной почве влажностью 0,5 НВ и менее в весенний период и до 0,6 НВ в летне-осенний период.

Сравнение результатов с допустимыми напряжениями на глубине 0,5 м [4] показывает, что трактор соответствует нормам при работе на сдвоенных шинах только в летне-осенний период на почвах влажностью до 0,6 НВ включительно, при работе на одинарных шинах – 0,5 НВ и менее.

Отметим, что под сдвоенными колесами более чем в два раза увеличивается прикатываемая площадь поля. Комплексная оценка эффективности сдвигания колес может быть дана с учетом данных по изменению урожайности сельскохозяйственных культур, повышения проходимости трактора.

Максимальные давления под протектором рассчитаны по методике [5]. В действительности ГОСТ не предусматривает такой расчет. Однако видим, что их значения превосходят давления, рассчитанные по контурной площади, почти в четыре раза и еще больше превышают допустимые. Это указывает на целесообразность увеличения коэффициента насыщенности протектора и ограничение его высоты для снижения уровня воздействия на почву.

### Заключение

Сдвигание колес трактора «Беларус-2022.5» позволяет снизить максимальные давления на почву в 1,5 раза и напряжения в почве на глубине 0,5 м – в 1,2 раза. И соответственно больше способствует снижению деформаций пахотного слоя почвы. Расширяется диапазон допустимой эксплуатации трактора по влажности почвы. При этом определяющим параметром являются напряжения в почве на глубине 0,5 м. Допустимый уровень обеспечивается только в летне-осенний период на почвах влажностью до 0,6 НВ включительно для трактора на сдвоенных шинах и до 0,5 НВ включительно на одинарных шинах.

С учетом увеличения прикатываемой ходовой системой трактора площади поля сдвигание колес следует рассматривать как способ повышения проходимости тракторов, но не обеспечения допустимого уровня воздействия на почву.

#### **Список использованных источников**

1. Гедроить, Г. И. Уплотнение почв ходовыми системами сельскохозяйственных машин / Г. И. Гедроить // Агропанорама. – 2010. – № 6. – С. 8–12.
2. Гедроить, Г. И. Взаимодействие с почвой многоколесных ходовых систем / Г. И. Гедроить, А. Г. Гедроить, А. Д. Четкин // Агропанорама. – 2012. – № 5. – С. 2–7.
3. Скотников, В. А. Проходимость машин / В. А. Скотников, А. В. Пономарев, А. В. Климанов. – Минск : Наука и техника, 1982. – 328 с.
4. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву : ГОСТ 26955–86 ; введ. 01.01.1987. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2018. – 7 с.
5. Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву : ГОСТ 26953–86 ; введ. 01.01.1987. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2018. – 11 с.
6. Гедроить, Г. И. Допустимый уровень воздействия ходовых систем сельскохозяйственной техники на почву / Г. И. Гедроить, Ю. И. Томкунас, А. Д. Четкин // Агропанорама. – 2013. – № 5. – С. 10–15.
7. Гедроить, Г. И. Опорные свойства шин для сельскохозяйственной техники / Г. И. Гедроить // Агропанорама. – 2009. – № 4. – С. 23–27.
8. Агейкин, Я. С. Проходимость автомобилей / Я. С. Агейкин. – М. : Машиностроение, 1981. – 242 с.
9. Автомобили. Качение колеса. Термины и определения : ГОСТ 17697–72 ; введ. 01.01.1973. – М. : Издательство стандартов, 1972. – 24 с.



**Г. И. Гедроит, С. В. Занемонский, Т. А. Варфоломеева, А. С. Новик**

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: zanemanoff@mail.ru*

## **РАЗВИТИЕ КОНСТРУКЦИЙ ПРОТЕКТОРОВ ШИН**

*Аннотация.* В статье дана оценка применения шин с различными рисунками протектора. Проанализировано влияние параметров протектора на тягово-сцепные свойства машин.

*Ключевые слова:* трактор, шина, протектор, грунтозацеп, почва, свойства почвы.

**G. I. Gedroit, S. U. Zaniamonski, T. A. Varfolomeyeva, A. S. Novik**

*El “Belarusian State Agrarian Technical University”  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: zanemanoff@mail.ru*

## **DEVELOPMENT OF TIRE TREAD DESIGNS**

*Abstract.* The article evaluates the use of tires with different tread patterns. The influence of tread parameters on the traction and grip properties of vehicles is analyzed.

*Keywords:* tractor, tire, tread, lug, soil, soil properties.

### **Введение**

Особенностью сельскохозяйственного производства является необходимость выполнения разнообразных технологических операций (обработка почвы, посев, посадка, внесение минеральных и органических удобрений, уборка урожая, транспортировка широкой номенклатуры грузов и др.), сезонность, повторность [1].

Полевые работы выполняются на почвах с разной влажностью и несущей способностью, транспортные – по асфальтным, сухим и размокшим грунтовым или полевым дорогам, на различных типах почв.

На эксплуатационные качества машин существенно влияют размер колес, деформируемость шин, значения давления воздуха [2]. При создании сельскохозяйственных шин особое внимание должно быть уделено таким важным показателям как тип, рисунок и глубина протектора, количество и угол наклона грунтозацепов, форма и глубина протектора вокруг плеч шины (части протектора шины, расположенной между беговой дорожкой и боковиной).

### **Основная часть**

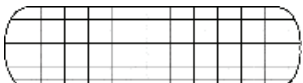
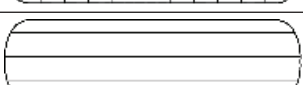
Для работы в полевых условиях шины должны обеспечить трактору максимальные тягово-сцепные качества, хорошую очищаемость протектора, допустимое буксование и давление на почву, малую глубину следа.

Существуют различные варианты шин. В таблице 1 приведены основные типы рисунков протектора [3].

Согласно нормативной документации, выделяют универсальный рисунок протектора, рисунок повышенной проходимости, карьерный, дорожный, зимний, направленный, ненаправленный, ассиметричный рисунки [4].

Для шин тракторов и сельскохозяйственных машин по назначению указывают ведущий, направленный, несущий рисунки протекторов [5], т. е. выпускаемые в настоящее время конструкции шин разработаны с учетом условий их эксплуатации как на сельскохозяйственных, так и на транспортных работах.

Таблица 1 – Типы рисунков протектора пневматических шин

Схема рисунка протектора	Наименование	Предпочтительные условия применения
	«Елочка» – против направления движения	–
	Прямоугольный	Асфальтированные поверхности, сухие
	Ромбический	Асфальтированные поверхности
	Поперечный	Асфальтированные поверхности, мокрые – при невысоких скоростях движения
	Продольный	Поперечные склоны
	«Елочка» – по направлению движения	Грунтовые поверхности

В соответствии с международными стандартами существуют следующие основные виды рисунков проекторов сельскохозяйственных шин [6]: грунтозацепы «елочка» (рисунок 1, а), которые лучше всего подходят для полевых операций; грунтозацепы «клюшка» (рисунок 1, б), применяемые в шинах прицепов и полуприцепов; тип «ребро» (рисунок 1, в) или «продольные волны» (рисунок 1, г), применяемый в шинах ведомых управляемых колес тракторов и опорно-ходовых колес прицепных и полуприцепных сельскохозяйственных машин (плугов, культиваторов); «блочный» («шашечный») тип (рисунки 1, д, е), который является наиболее подходящим для транспортных работ.

TRA (Ассоциация производителей шин и дисков, США) установила индексы, по которым классифицируются шины повышенной проходимости по типу протектора, области их применения и условиям эксплуатации (таблица 2) [7].



Рисунок 1 – Основные виды протекторов сельскохозяйственных шин: а – с грунтозацепами «елочка»; б – с грунтозацепами «клюшка»; в – с продольными ребрами; г – с продольными волнами; д – «блочный» («шашечный») ромбообразный; е – «блочный» S-образный (зигзагообразный)

Таблица 2 – Протекторы сельскохозяйственных шин

Применение	Индекс по TRA	Протектор	Условия эксплуатации
Ведущие колеса сельскохозяйственных тракторов и комбайнов, дорожно-строительной техники	R-1	Грунтозацепы «елочка»	Сухая и влажная почва
	R-1W	Грунтозацепы «елочка»	Влажная почва. Холмистый рельеф
	R-2	Грунтозацепы «елочка»	Рисовые и тростниковые поля
Ведущие колеса дорожных грунтовых катков, несущие колеса сельскохозяйственных прицепов, прицепных машин	R-3	«Блочный» («шашечный») ромбообразный	Грунтовая дорога, песок, грунт, почва с ровным рельефом. Луга, сенокосы, газоны

Применение	Индекс по TRA	Протектор	Условия эксплуатации
Ведомые управляемые колеса сельскохозяйственных тракторов	F-1	С одним продольным ребром	Рисовые и тростниковые поля
	F-2	С двумя и более продольными ребрами	Сухая и влажная почва
Несущие колеса сельскохозяйственных прицепов, прицепных машин	I-1	С одним и несколькими продольными ребрами или волнами	Сухая и влажная почва
	I-2	«Блочный»	Сухая и влажная почва
Несущие колеса сельскохозяйственных прицепов, самоходных и прицепных машин, дорожно-строительной техники	I-3	С грунтозацепами «клюшка» или «елочка»	Грунтовая дорога, почва, грунт, гравий

Классификация TRA признана отраслевым стандартом и утверждена ISO (Международной организацией по стандартизации), ETRTO (Европейской технической организацией по шинам и дискам) и JATWA (Японской ассоциацией производителей автомобильных шин). На основе этой классификации производители разрабатывают шины с собственным дизайном рисунка протектора. Унификация с индексами TRA позволяет правильно подбирать шины различных моделей.

Шины R-1 и R-1W имеют протектор с грунтозацепами «елочка» с углами наклона 23–45° (или изогнутые грунтозацепы, которые объединяют два угла).

Наиболее распространенный и универсальный тип протектора шин ведущих колес тракторов – R-1 (таблица 2). Используется практически для всех сельскохозяйственных работ. Характеризуется высокими тягово-сцепными свойствами, хорошим самоочищением, низким давлением на почву. Глубина протектора для шин R-1 в зависимости от их размера составляет 30–45 мм.

Тип R-1W характеризуется увеличением глубины протектора на 20 % по сравнению с протектором R-1, что обеспечивает более высокую силу тяги, особенно при работе в поле на неровной местности. Используется при работе трактора на тяжелых и влажных почвах. Восприимчивость к повышенному износу протектора выше по сравнению с протектором типа R-1.

Шины R-2 имеют рисунок протектора «елочка», аналогичный протектору шин R-1 и R-1W. Характеризуются как минимум вдвое большей глубиной протектора, чем шины R-1, углом наклона грунтозацепов 45° и агрессивным внешним видом. Дополнительная глубина протектора позволяет шинам R-2 работать на чрезвычайно влажной местности – на полях сахарного тростника и рисовых полях со стоячей водой, отсюда и традиционное название: «рисовая или тростниковая шина».

Шины R-3 имеют «блочный» протектор. Их используют на поверхностях, которые должны иметь минимальное повреждение (лугах и сенокосах, во избежание повреждения дерна и загрязнения корма почвой).

Тягово-сцепные свойства тракторов в значительной степени определяются углом наклона грунтозацепов  $\Theta_r$  (рисунок 2).

Максимальная нагрузка на почвах с низкой несущей способностью прикладывается вокруг плеч и обеспечивает максимальное тяговое усилие, в то время как на твердых поверхностях нагрузка концентрируется вокруг центральной линии шины.

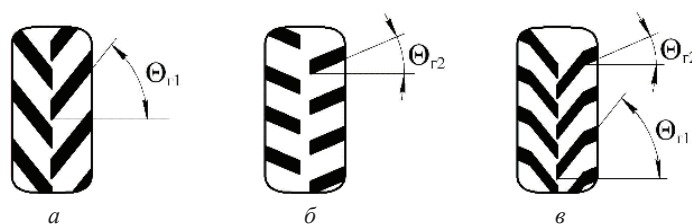


Рисунок 2 – Варианты грунтозацепов с разными углами наклона: а – грунтозацепы «елочка» с большим углом наклона; б – грунтозацепы «елочка» с малым углом наклона; в – многоугольные грунтозацепы

Во время транспортировки по твердым поверхностям нагрузка сконцентрирована вокруг центральной линии шины. При эксплуатации по грунтовым и особенно по усовершенствованным дорогам наблюдается большой интенсивности износ рисунка протектора. Скорость износа увеличивается в 3–3,5 раза за счет малой площади контакта с дорогой, высокого давления на грунтозацеп и повышенного проскальзывания грунтозацепов относительно дороги. Размещение более длинных грунтозацепов с большими углами установки вокруг центральной линии может значительно увеличить срок службы протектора.

Грунтозацепы с большими углами наклона  $\Theta_{г1}$  (рисунок 2, а) длиннее грунтозацепов с малыми углами  $\Theta_{г2}$  (рисунок 2, б) и за счет этого обладают более длительным сроком службы. Большие углы также обеспечивают лучший комфорт, меньшую вибрацию во время движения и более высокую стабильность управления. Короткие грунтозацепы с меньшим углом наклона  $\Theta_{г2}$  (рисунок 2, б) расположены ближе к плечевой зоне шин и обеспечивают более высокую тягу в этой зоне.

Большинство современных сельскохозяйственных протекторов имеют, как правило, два и более угла наклона грунтозацепов  $\Theta_{г1}$  и  $\Theta_{г2}$  (многоугольные грунтозацепы) (рисунок 2, в). Многоугольный протектор оптимален для шин тракторов, задействованных на полевых и транспортных работах.

Варианты ведущих шин с разными грунтозацепами предлагаются и ОАО «Белшина» (рисунок 3).

Влияние разных параметров автомобильных вездеходных шин показано на рисунке 4 [8, 9].



Рисунок 3 – Протекторы шин ОАО «Белшина»: а – 30.5R32 мод. Ф-81; б – 650/65R42 мод. BEL-244; в – 16.9R30 мод. Ф-245-1; г – 28.1R26 мод. ФД-12

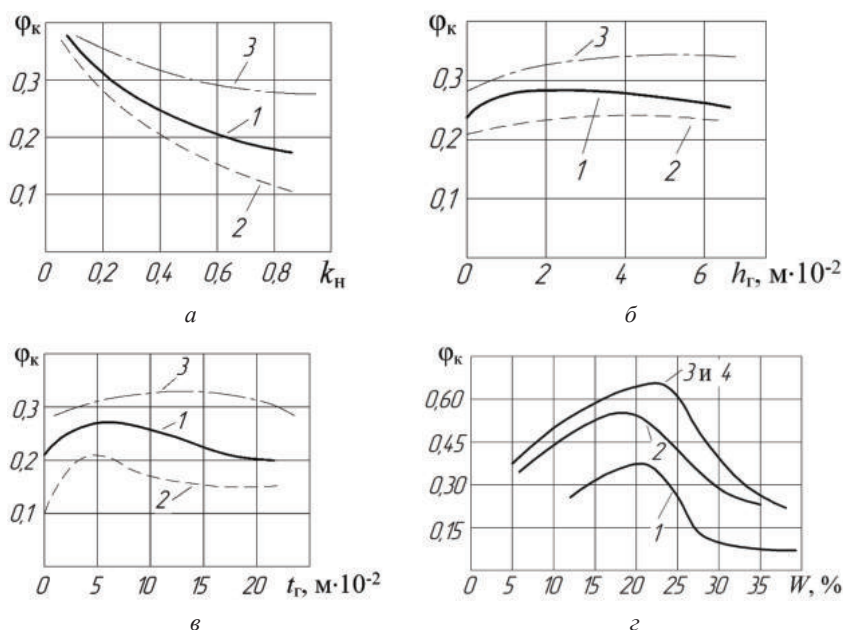


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента сцепления колеса  $\phi_k$  от параметров протектора: а – коэффициента насыщенности протектора  $k_n$ ; б – высоты грунтозацепов  $h_r$ ; в – шага между грунтозацепами  $t_r$  (1 – на снегу; 2 – на заболоченном грунте; 3 – на суглинке); г – угла наклона грунтозацепов  $\Theta_r$  и влажности грунта  $W$  (1 – колесо без грунтозацепов; 2 –  $\Theta_r = 90^\circ$ ; 3 –  $\Theta_r = 50^\circ$ ; 4 –  $\Theta_r = 30^\circ$ )

Видим, что существенно влияние выделенных параметров на сцепление колес с опорным основанием.

Для аналитического описания связи тягово-сцепных свойств шин с почвой наиболее известны зависимости, предложенные Я. С. Агейкиным [8] и В. В. Гуськовым [10].

Согласно [8] максимальную касательную силу в контакте  $\tau_{\max}$  можно определить из выражения:

$$\tau_{\max} = k_n p \varphi_0 + (1 - k_n)(\operatorname{ptg} \varphi_0 + c_0) \left( 1 + C_{\Delta} (h_r + \Delta_{\text{гр}})^{\mu_{\Delta}} \right), \quad (1)$$

где  $k_n$  – коэффициент насыщенности протектора;  $p$  – давление в контакте;  $\varphi_0, c_0$  – соответственно угол внутреннего трения и сцепления для грунта;  $\Delta_{\text{гр}}$  – деформация грунта;  $C_{\Delta}, \mu_{\Delta}$  – параметры, зависящие от неоднородности грунта;  $h_r$  – высота грунтозацепов.

Таким образом, приведенная формула (1) учитывает только два параметра протектора:  $k_n$  и  $h_r$ .

Для тракторных шин касательную силу тяги движителя  $P_k$  (Н) можно определить из выражения [10]:

$$P_k = \frac{f_{\text{ск}} k_{\tau} G}{\delta L} \left[ \ln \operatorname{ch} \frac{\delta L}{k_{\tau}} - f_{\text{пр}} \left( \frac{1}{\operatorname{ch} \frac{\delta L}{k_{\tau}}} - 1 \right) \right] + 2 \tau_{\text{ср}} \frac{h_r L}{t_r}, \quad (2)$$

где  $f_{\text{ск}}$  – коэффициент трения скольжения;  $G$  – нагрузка на шину, Н;  $k_{\tau}$  – коэффициент деформации почвы, м;  $\delta$  – буксование движителя;  $L$  – длина пятна контакта, м;  $\tau_{\text{ср}}$  – напряжение среза почвы, Н/м;  $f_{\text{пр}}$  – приведенный коэффициент трения;  $h_r, t_r$  – высота и шаг грунтозацепов, м.

Оценим изменение касательной силы тяги шины 580/70R42 на среднем суглинке в зависимости от высоты и шага грунтозацепов (таблица 3). Характеристики шины и опорного основания:  $G = 33\,420$  Н,  $f_{\text{ск}} = 0,5$ ,  $k_{\tau} = 0,052$  м,  $\delta = 0,14$ ,  $L = 0,562$  м,  $\tau_{\text{ср}} = 1700$  Н/м,  $f_{\text{пр}} = 1,16$ .

Таблица 3 – Значения касательной силы тяги шины 580/70R42 в зависимости от высоты и шага грунтозацепов

$h_r$ , мм	$t_r$ , мм	$P_k$ , Н	$h_r$ , мм	$t_r$ , мм	$P_k$ , Н
30	100	17 580,5	60	100	18 153,7
	200	17 293,8		200	17 580,5
	300	17 198,3		300	17 389,4
	400	17 150,5		400	17 293,8
	500	17 121,9		500	17 236,5
40	100	17 771,5	70	100	18 344,8
	200	17 389,4		200	17 676,0
	300	17 262,0		300	17 453,1
	400	17 198,3		400	17 341,6
	500	17 160,1		500	17 274,7
50	100	17 962,6	80	100	18 535,9
	200	17 484,9		200	17 771,5
	300	17 325,7		300	17 516,8
	400	17 246,1		400	17 389,4
	500	17 198,3		500	17 313,0

Анализ полученных результатов показывает, что изменение шага грунтозацепов со 100 до 500 мм приводит к уменьшению касательной силы тяги на 2,5–7 %. Большие значения соответствуют грунтозацепам с высотой 80 мм. Высота грунтозацепов больше влияет на тягу при меньшем шаге. При шаге 100 мм изменение высоты грунтозацепов с 30 до 80 мм приводит к увеличению касательной силы тяги более 5 %. Сравнительно небольшое изменение касательной силы тяги по формуле (2) связано с тем, что оцениваемые параметры входят только во второй член выражения. Основную роль играют нагрузка на колесо и свойства почвы.



Таким образом, параметры протектора влияют на тягово-сцепные свойства машин. Однако аналитические зависимости учитывают в основном высоту и шаг грунтозацепов, коэффициент насыщенности протектора. При сложной форме грунтозацепов расчеты затруднены.

### **Заключение**

Конструкция протектора тракторных шин существенно влияет на тягово-сцепные и опорные свойства тракторов в полевых и дорожных условиях. Получает развитие конструкция с переменным углом грунтозацепов, разной длиной и формой при одном типоразмере шин.

Аналитические зависимости учитывают коэффициент насыщенности протектора, высоту и шаг грунтозацепов и требуют доработки для более полного учета факторов. На среднем суглинке колеса энергонасыщенного трактора при увеличении высоты и уменьшении шага грунтозацепов в пределах, соответствующих реальным шинам, развивают более высокую касательную силу тяги соответственно на 5 и 7 %.

### **Список использованных источников**

1. Гедроить, Г. И. Объемы работ и условия эксплуатации транспортных средств / Г. И. Гедроить, С. В. Занемонский // Агропанорама. – 2021. – № 3. – С. 2–7.
2. Совершенствование ходовых систем транспортно-технологических сельскохозяйственных машин / Г. И. Гедроить, С. В. Занемонский, А. В. Бобрышов, С. И. Осирко // Агропанорама. – 2020. – № 2. – С. 2–6.
3. Ксенович, И. П. Наземные тягово-транспортные системы / И. П. Ксенович, В. А. Гоберман, Л. А. Гоберман // Энциклопедия : в 3 т. / ред. совет: И. П. Ксенович (председатель) [и др.]. – М. : Машиностроение, 2003. – 743 с.
4. Шины пневматические. Конструкция. Термины и определения : ГОСТ 22374–77. – с изм. № 1, утв. в марте 1990 ; введ. 01.01.1978. – М. : Издательство стандартов, 1990. – 40 с.
5. Шины пневматические для тракторов и сельскохозяйственных машин. Технические условия : ГОСТ 76463–2003 ; введ. 01.01.2005. – М. : Издательство стандартов, 2004. – 25 с.
6. European Tyre and Rim Technical Organization. – 2024. – URL: <http://www.etrto.org / Publications> (date of access: 06.09.2024).
7. The Tire and Rim Association, Inc. – 2024. – URL: <https://www.us-tra.org/publications> (date of access: 09.09.2024).
8. Агейкин, Я. С. Проходимость автомобилей / Я. С. Агейкин. – М. : Машиностроение, 1981. – 242 с.
9. Котович, С. В. Двигатели специальных транспортных средств : учеб. пособие / С. В. Котович. – М. : МАДИ (ГТУ). – Ч. 1. – 2008. – 161 с.
10. Тракторы. Теория : учебник / В. В. Гуськов, Н. Н. Велев, Ю. Е. Атаманов [и др.]. – М. : Машиностроение, 1988. – 376 с.

Ал-р Л. Мисун<sup>1</sup>, Л. В. Мисун<sup>1</sup>, В. В. Азаренко<sup>2</sup>, А. В. Гаркуша<sup>1</sup>

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: LLM\_90@mail.ru

<sup>2</sup>Президиум Национальной академии наук Беларуси

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: azarenko@presidium.bas-net.by

## ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы расчета выбросов загрязняющих атмосферу веществ от автотранспортных средств (АТС), эколого-экономического ущерба от эксплуатации АТС, не соответствующей экологическим требованиям, предложено патентное техническое решение для очистки воздуха от загрязняющих веществ в кабине АТС.

**Ключевые слова:** автотранспортные средства, выбросы, загрязняющие вещества, атмосфера, эколого-экономический ущерб.

Al-r L. Misun<sup>1</sup>, L. V. Misun<sup>1</sup>, V. V. Azarenko<sup>2</sup>, A. V. Garkusha<sup>1</sup>

<sup>1</sup>EI "Belarusian State Agrarian Technical University"

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: LLM\_90@mail.ru

<sup>2</sup>Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: azarenko@presidium.bas-net.by

## ASSESSMENT OF ATMOSPHERIC AIR POLLUTION DURING THE OPERATION OF MOTOR VEHICLES

**Abstract.** The article considers the issues of calculating emissions of air pollutants from motor vehicles (MV), environmental and economic damage from the operation of MV that does not comply with environmental requirements, a patent technical solution for air purification from pollutants in the MV cabin is proposed.

**Keywords:** motor vehicles, emissions, pollutants, atmosphere, environmental and economic damage.

### Введение

Постоянное увеличение транспортных потоков, несоответствие эксплуатации АТС экологическим требованиям приводит к возрастанию загрязнения атмосферного воздуха [1–4]. В Республике Беларусь насчитывается более трех миллионов АТС, на долю которых приходится более 70 % всех выбросов в атмосферу. В среднем от одного АТС с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) выбрасывается в сутки до четырех килограммов только углекислого газа, а также оксиды азота, серы, углеводороды и другие загрязняющие окружающую среду вещества. Основными причинами такой экологической обстановки, особенно в крупных населенных пунктах, являются [4]:

- ослабленный контроль на предприятиях за соблюдением нормативов государственных стандартов по токсичности и дымности отработавших газов (ОГ) ДВС;
- недостаточный эффект эколого-экономического управления охраной окружающей среды на предприятиях;
- медленный перевод автотранспорта на менее токсичные виды топлива;
- недостаточное внедрение систем нейтрализации отработавших газов ДВС, контрольно-измерительной диагностической техники, оборудования и др.

## Основная часть

Состав и количество ОГ автотранспортных средств зависят как от их условий эксплуатации, структуры парка АТС, технического состояния, так и от других факторов, что значительно затрудняет экспериментально измерить массу вредных выбросов. Для этого пришлось бы на каждое АТС установить комплекс газоанализаторов и проводить непрерывные измерения. Поэтому для определения массы выбросов используются различные методы [5–7], среди которых наибольшее применение получили следующие:

- с использованием коэффициента эмиссии ( $K$ ) загрязняющих атмосферу веществ (ЗВ) при сжигании одной тонны жидкого топлива или на  $1\ 000\ \text{м}^3$  сжатого газа (таблица 1);
- исходя из выполненной работы;
- пропорционально пробегу АТС;
- комплексный метод.

Таблица 1 – Значение коэффициентов эмиссии ЗВ

Наименование ЗВ	Выброс ЗВ ДВС, использующими:			
	бензин	дизтопливо	сжиженный газ	сжатый газ
1	2	3	4	5
1. Оксид углерода (CO)	0,44	0,125	0,44	0,220
2. Углеводороды ( $\text{C}_x\text{H}_y$ )	0,080	0,055	0,080	0,050
3. Двуокись азота ( $\text{NO}_2$ )	0,025	0,035	0,025	0,025
4. Сажа (C)	0,0006	0,015	–	–
5. Сернистый газ	0,002	0,020	–	–
6. Свинец (Pb)	0,0003	–	–	–
7. Бензапирен	$23 \cdot 10^{-3}$	$31 \cdot 10^{-3}$	–	–

При использовании первых трех методов не в полной мере учитывается структура парка АТС, их техническое состояние, условия движения и эксплуатации, вследствие чего результаты расчетов недостаточно точны. Лучшие результаты дает комплексный метод. Валовый выброс ЗВ, согласно комплексному подходу, определяется из выражения:

$$M_i = m_{i\text{ уд}} L k_1 k_2 k_3 10^{-6}, \quad (1)$$

где  $M_i$  – масса валового выброса  $i$ -го вида примеси в атмосферу, т;  $m_{i\text{ уд}}$  – удельный выброс ЗВ на один километр пробега АТС, г/км (таблица 2);  $L$  – общий пробег АТС, км;  $k_1, k_2, k_3$  – коэффициенты влияния, соответственно среднего значения срока эксплуатации парка АТС, уровня технического их состояния, природно-климатических условий эксплуатации АТС.

Таблица 2 – Значения удельных выбросов ЗВ при эксплуатации АТС

Группа АТС	Удельный выброс ЗВ ( $m_{i\text{ уд}}$ ), г/км		
	CO	$\text{C}_x\text{H}_y$	$\text{NO}_2$
С бензиновым двигателем	61,5	13,3	8,0
С дизельным двигателем	15,0	6,4	8,5

Используя комплексный метод, можно получить данные о выбросах вредных компонентов ОГ отдельно для четырех режимов работы АТС: холостого хода, разгона, установившегося движения, торможения. Известно, что самое большое количество ЗВ с ОГ выбрасывается при работе двигателя не на холостом ходу, а на форсированных режимах, в момент разгона и торможения [4]. В этой связи весьма важным с экологической точки зрения является анализ выбросов от АТС, загрязняющих атмосферу веществ при хранении автотранспортных средств на открытых площадках и в гаражах. В этом случае расчеты проводятся по следующим компонентам ОГ: для АТС с карбюраторными двигателями рассчитывается выброс оксида углерода (CO), углеводородов ( $\text{C}_x\text{H}_y$ ), оксидов азота (в пересчете на диоксид азота  $\text{NO}_2$ ) и соединений свинца (Pb); для АТС с дизельными двигателями расчет ведется для CO,  $\text{C}_x\text{H}_y$ ,  $\text{NO}_2$  и сажи (C).

Выброс  $i$ -го вещества в граммах одним АТС в день соответственно при выезде ( $M'_{ik}$ ) с территории стоянки (гаража) и возврате ( $M''_{ik}$ ) рассчитывается по формулам:

$$M'_{ik} = m_{\text{пр. } ik} t_{\text{пр.}} + m_{\text{х.х. } ik} t_{\text{х.х. } 1} + m_{1 ik} L_1, \quad (2)$$

$$M''_{ik} = m_{\text{х.х. } ik} t_{\text{х.х. } 2} + m_{1 ik} L_2, \quad (3)$$

где  $m_{\text{пр. } ik}$  – удельный выброс  $i$ -го вещества при прогреве двигателя АТС  $k$ -й группы, г/мин;  $m_{\text{х.х. } ik}$  – удельный выброс  $i$ -го вещества при работе на холостом ходу, г/мин;  $m_{1 ik}$  – удельный выброс  $i$ -го вещества при движении АТС по территории стоянки, г/км;  $t_{\text{пр.}}$  – время работы двигателя при прогреве, мин (таблица 3);  $L_1, L_2$  – пробег за день по территории стоянки одного АТС при выезде (возврате), км;  $t_{\text{х.х. } 1}, t_{\text{х.х. } 2}$  – время работы двигателя на холостом ходу при выезде (возврате) на территорию стоянки (гаража) ( $t_{\text{х.х. } 1} = t_{\text{х.х. } 2} = 1$  мин).

Под  $k$ -й группой АТС рассматриваются передвижные источники (ПИ) одной категории. Например, группы ПИ с карбюраторными двигателями грузоподъемностью до 1 т, от 1 т до 3 т, от 3 т до 6 т и т. д. Величины удельных выбросов загрязняющих веществ получают экспериментально.

Таблица 3 – Время работы двигателя при прогреве

Температура воздуха, °С	Выше +5	+5...–5	–5...–10	–10...–15	–15...–20	–20...–25	Ниже –25
Время прогрева*, мин.	4	6	12	20	28	36	45

П р и м е ч а н и е: \* при хранении АТС в помещении  $t_{\text{пр.}}$  принимается равным 0,5 мин.

Время прогрева двигателя ( $t_{\text{пр.}}$ ) зависит от температуры воздуха (таблица 3). В переходный период, когда среднемесячная температура воздуха от  $-5$  °С до  $+5$  °С, выбросы СО и  $\text{C}_x\text{H}_y$  умножаются на коэффициент 0,9 от значений холодного периода года (среднемесячная температура воздуха меньше  $-5$  °С). Выбросы  $\text{NO}_2$  в переходный период приравниваются к выбросам в холодный период. С учетом вышеизложенного, например, валовый выброс  $i$ -го вещества всеми АТС за каждый период года, рассчитывается по формуле:

$$M_{i \text{ вал}} = \sum_{j=1}^k \alpha_b (M'_{ik} + M''_{ik}) N_k D_p \cdot 10^{-3}, \quad (4)$$

где  $M_{i \text{ вал}}$  – валовый выброс, кг;  $\sum_{j=1}^k$  – значение показателей по всем группам АТС, имеющимся на предприятии;  $\alpha_b$  – коэффициент, характеризующий долю АТС  $k$ -й группы, выезжавших с территории предприятия;  $N_k$  – количество АТС  $k$ -й группы на предприятии;  $D_p$  – количество рабочих дней в расчетном периоде года.

Для контроля СО и углеводородов в ОГ ДВС используются специальные газоанализаторы, принцип работы которых основан на методах оптико-акустической или абсорбционной спектроскопии (способности молекул каждого вещества поглощать излучение с характерными только для них длинами волн, образуя спектр поглощения, рисунки 1, 2).

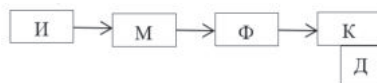


Рисунок 1 – Функциональная схема оптико-акустического газоанализатора: И – источник излучения; М – модулятор; Ф – светофильтр, выделяющий излучение нужной длины волны; К – кювета; Д – детектор

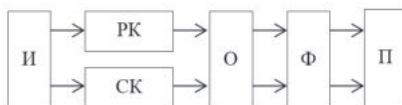


Рисунок 2 – Функциональная схема абсорбционного газоанализатора: И – источник излучения; РК – рабочая кювета; СК – кювета сравнения; О – обтюратор; Ф – светофильтр; П – приемник излучения

В основе работы газоанализаторов для определения содержания оксидов азота в ОГ ДВС используется эффект излучения при прохождении некоторых химических реакций (хемилюминесценция). В частности, для определения оксидов азота используется следующая реакция:  $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2 + \text{свет}$ . Посредством измерения интенсивности свечения определяется концентрация  $\text{NO}_2$ .

Для экспресс-контроля дымности ОГ АТС с дизельными двигателями используются дымомеры, принцип работы которых основан на методе просвечивания ОГ. При этом измерение дымности проводится сравнительным методом по эталонному уровню дымности, который определяется коэффициентом пропускания светофильтра. Допустимое содержание ЗВ в ОГ ДВС автотранспортных средств [4; 8] приведено в таблицах 4, 5.

Таблица 4 – Допустимое содержание ЗВ в ОГ ДВС

Наименование компонента ОГ ДВС	Режим измерения	Единица измерения компонента ОГ	Предельно-допустимая норма содержания компонента (ПДН)
1. Оксид углерода (CO). Бензиновый двигатель	Минимальная частота вращения коленчатого вала двигателя ( $n_{\min \text{ х.х.}}$ )	%	1,5
2. Углеводороды ( $\text{C}_x\text{H}_y$ ). Бензиновый двигатель	То же	млн <sup>-1</sup>	1 200 – для двигателя с числом цилиндров 4 3 000 – для двигателя с числом цилиндров 6
3. Дымность. Дизельный двигатель	Без наддува	%	40
	С наддувом ( $n_{\max \text{ х.х.}}$ )	%	15

Таблица 5 – Нормы для токсичности выхлопа ДВС  
(Европейские требования к экологической безопасности АТС)

Правила ЕАС	Год введения	Содержание в выхлопе, г/кВт·ч			
		NO <sub>x</sub>	CO	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	Твердые частицы
ECR 49.00	1982	18	14	3,5	Не регламентировано
Euro 0	1988	14,4	11,2	2,5	То же
Euro 1	1993	8,0	4,5	1,1	0,36
Euro 2	1996	7,0	4,0	1,1	0,15
Euro 3	2000	0,78	0,95	0,6	0,10
Euro 4	2005	0,39	0,74	0,46	0,06
Euro 5	2009	0,280	0,74	0,350	0,005
Euro 6	2014	0,125	0,74	0,215	0,005

При эксплуатации АТС валовый выброс  $i$ -го ЗВ ( $M_{i \text{ вал.}}$ ) от ДВС АТС рассчитывается по формуле:

$$M_{i \text{ вал.}} = g_i Q \cdot 10^{-3}, \quad (5)$$

где  $g_i$  – удельный выброс  $i$ -го ЗВ (таблицы 6, 7);  $Q$  – потребление моторного топлива, т/год.

Таблица 6 – Удельный выброс загрязняющих веществ  
при сгорании одного кг бензина при эксплуатации АТС

Тип АТС	Экологический класс АТС	Удельный выброс, г/кг				
		CO	CH	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Легковые автомобили	Евро 0	250,0	31,0	30,0	0,54	2 670
	Евро 1 и выше	21,5	2,4	5,8	0,54	3 120
Грузовые автомобили и автобусы полной массой до 3 500 кг	Евро 0	250,0	31,0	30,0	0,54	2 670
	Евро 1 и выше	21,5	2,4	5,8	0,54	3 120
Грузовые автомобили и автобусы полной массой более 3 500 кг	Евро 0	360,0	39,0	30,0	0,54	2 500



Таблица 7 – Удельный выброс ЗВ при сгорании одного кг дизельного топлива при эксплуатации АТС

Тип АТС	Экологический класс АТС	Удельный выброс, г/кг					
		CO	CH	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	C
Легковые автомобили	Евро 0	13,6	3,0	40,0	1,6	3 070	4,0
	Евро 1 и выше	7,5	1,4	30,0	1,6	3 100	1,1
Грузовые автомобили и автобусы полной массой до 3 500 кг	Евро 0	30,0	10,0	50,0	1,6	3 020	4,0
	Евро 1 и выше	8,6	4,3	25,0	1,6	3 090	1,1
Грузовые автомобили и автобусы полной массой более 3 500 кг	Евро 0	30,0	10,0	50,0	1,6	3 020	4,0
	Евро 1 и выше	8,6	4,3	25,0	1,6	3 090	1,4

При расчете массы потребляемого моторного топлива допускается принять следующие плотности:

- бензин АИ-92 (А-92) – 0,745 т/м<sup>3</sup>;
- бензин АИ-95 (А-95) – 0,755 т/м<sup>3</sup>;
- дизельное топливо (ДТ) – 0,835 т/м<sup>3</sup>.

Максимально-разовый выброс ЗВ в атмосферу от ДВС АТС рассчитывается путем пересчета т/год в г/с.

Для снижения выбросов ЗВ в атмосферу при эксплуатации АТС могут использоваться следующие организационно-технические мероприятия [4]:

- для карбюраторных двигателей:
  - а) индивидуальная регулировка системы холостого хода карбюратора (снижение выброса CO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>);
  - б) обеднение системы холостого хода (снижение выброса CO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>);
  - в) увеличение зазора между электродами свечей зажигания (снижение C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, CO и NO<sub>2</sub> – без изменений);
  - г) установка оптимальных углов опережения зажигания (снижение C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> и NO<sub>2</sub>; CO – без изменений);
  - д) применение жидкостного или каталитического нейтрализатора;
- для дизельных двигателей (уменьшение дымности):
  - а) уменьшение угла опережения впрыскивания топлива;
  - б) регулировка фаз газораспределения;
  - в) наддув (с охлаждением воздуха или без заметного увеличения мощности двигателя);
  - г) применение жидкостного или каталитического нейтрализатора;
  - д) антидымные присадки.

В условиях повышенной загазованности воздуха при эксплуатации АТС в кабине возможно превышение нормативного значения ПДК воздуха рабочей зоны [9]. Для дополнительной очистки приточного атмосферного воздуха в кабине от ЗВ, повышения пассивной безопасности водителя АТС предлагается техническое средство (рисунок 3), содержащее корпус с тангенциальным выводом для чистого воздуха.

Сверху от корпуса осевой ввод выполнен для загрязненного воздуха в виде трубы, соединенной с контактным элементом, включающим брызгоотражатель и резиновый сильфон. Брызгоотражатель выполнен в виде фартука выпуклой формы. Внутренняя же боковая поверхность сопла имеет угол 45°, а в качестве поступающей орошающей жидкости используется раствор эфирных масел хвой. Когда уровень входа жидкости в каналы выше, то обеспечивается длительный период эффективной работы устройства на ограниченном объеме орошающей жидкости. При этом эфирные масла хвой наполняют воздух внутри кабины АТС мельчайшими частицами (аэрозолями), несущими электрический заряд и оказывающими благотворное влияние на организм водителя. Это позволяет снять состояние утомления и усталости, повысить производительность труда.

За сверхнормативное загрязнение атмосферного воздуха при эксплуатации АТС определяется ущерб окружающей среде (C):

$$C = Hd(K_{\Pi} - 1)K_{\Pi}K_{\Sigma}, \quad (6)$$

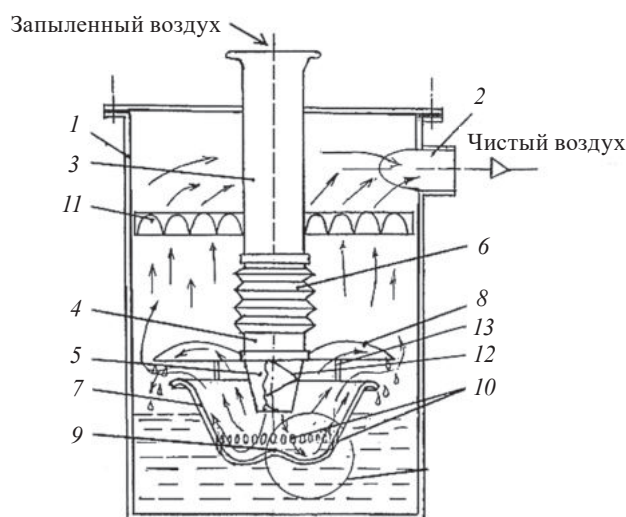


Рисунок 3 – Техническое средство для очистки воздуха в кабине от ЗВ [10]:  
 1 – корпус; 2 – тангенциальный вывод; 3 – осевой ввод; 4 – патрубок; 5 – сопло;  
 6 – сильфон; 7 – коническая емкость; 8 – брызгоотражатель; 9 – дно;  
 10 – канал перфорации; 11 – кассета фильтра; 12 – спираль; 13 – стержень

где  $H$  – сумма экологического налога, уплаченная автотранспортным предприятием за выброс ЗВ при эксплуатации АТС проверяемой группы (группы) в предыдущем году, руб.;  $d$  – для выявленных автотранспортных средств, не соответствующих стандартам по токсичности и дымности ОГ в общем количестве исследуемых АТС;  $K_{\text{ц}}$  – средневзвешенный коэффициент превышения ПДН в выявленных АТС;  $K_{\text{ц}}$  – коэффициент изменения цен в текущем периоде в сравнении с периодом, когда были приняты ставки экологического налога за загрязнение атмосферного воздуха;  $K_{\text{з}}$  – коэффициент экологической значимости территории размещения автотранспортного предприятия (рассчитывается с учетом численности жителей населенного пункта, где расположено автотранспортное предприятие ( $K_{\text{з}} = 1,0 \dots 6,6$ )).

Количество проверяемых АТС в выборке берется отдельно по группам (бензиновые, дизельные, газобаллонные) и должно составлять не менее:

- 80 % – с числом АТС в рассматриваемой группе до 5 единиц;
- 70 % – с числом АТС – от 5 до 10 единиц;
- 40 % – с числом АТС – от 11 до 25 единиц;
- 25 % – с числом АТС – от 20 до 50 единиц;
- 18 % – с числом АТС – от 51 до 100 единиц;
- 10 % – с числом АТС – от 101 до 300 единиц.

В случае повторного выявления в течение года превышения ПДН по токсичности и дымности ОГ ДВС, сумма платежа увеличивается в два раза.

### Заключение

На основании результатов исследований предложены организационно-технические мероприятия для оценки, контроля и снижения выбросов в атмосферу ЗВ при эксплуатации автотранспортных средств, расчета эколого-экономического ущерба при несоблюдении экологических требований. Предложено авторское патентное техническое решение для очистки воздуха от ЗВ в кабине, повышения пассивной безопасности водителя автотранспортного средства.

### Список использованных источников

1. Козлов, Ю. С. Экологическая безопасность автомобильного транспорта / Ю. С. Козлов, В. П. Меньшова, И. А. Святкин. – М. : Агар, 2000. – 176 с.

2. Луканин, В. Н. Промышленно-транспортная экология : учебник / В. Н. Луканин, Ю. В. Трофименко. – М. : Высш. шк., 2003. – 273 с.
3. Мисун, Л. В. Инженерная экология в АПК / Л. В. Мисун, И. Н. Мисун, В. М. Грищук. – Минск : БГАТУ, 2007. – 302 с.
4. Мисун, Л. В. Техносферная безопасность : пособие / Л. В. Мисун, Ал-й Л. Мисун, Ал-р Л. Мисун. – Минск : БГАТУ, 2023. – 212 с.
5. Минитаева, А. М. Анализ методов снижения экологического воздействия транспортных двигателей на окружающую среду / А. М. Минитаева, Ю. Б. Гришина, М. В. Тарута [и др.] // Омский научный вестник. – 2010. – С. 138–141.
6. Минитаева, А. М. Интегральная оценка экологической безопасности транспортных двигателей по критерию опасности / А. М. Минитаева // Омский научный вестник. – 2010. – С. 173–176.
7. Современные методы и средства снижения токсичности отработавших газов дизельных двигателей / В. А. Обремок [и др.] // Политематич. науч. журнал Кубанск. гос. агр. ун-та. – 2016. – С. 232–246.
8. Анализ Европейских требований к экологической безопасности автомобилей / П. М. Канило [и др.] // Вісник Харківськ. націон. автомоб.-дорожн. ун-та. – 2013. – С. 67–75.
9. Голохваст К. С. Выбросы автотранспорта и экология человека / К. С. Голохваст, В. В. Чернышев, С. М. Угай // Экология человека. – 2016. – Т. 23, № 1. – С. 9–14.
10. Патент ВУ № 13206 В1, МПК В 01Д 47/02, 2023.

**А. Л. Мисун**

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: LLM\_90@mail.ru*

## **ОЦЕНКА УСЛОВИЙ И БЕЗОПАСНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РЕГУЛИРОВОЧНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ**

*Аннотация.* Рассмотрены факторы, формирующие условия труда, параметры безопасности, оценочные показатели безопасного выполнения регулировочных воздействий технического средства при эксплуатации. Предложено патентное техническое решение для повышения работоспособности оператора технического средства при выполнении регулировочных воздействий.

*Ключевые слова:* безопасность, эксплуатация технического средства, регулировочные воздействия, условия труда.

**A. L. Misun**

*EI "Belarusian State Agrarian Technical University"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: LLM\_90@mail.ru*

## **ASSESSMENT OF CONDITIONS AND SAFETY OF EXECUTION ADJUSTMENT INFLUENCES DURING OPERATION OF TECHNICAL MEANS**

*Abstract.* Factors shaping working conditions, safety parameters, and estimated indicators for the safe implementation of the regulatory effects of a technical device during operation are considered. A patent technical solution has been proposed to improve the performance of the operator of a technical device when performing regulatory actions.

*Keywords:* safety, operation of technical equipment, ease of performing regulatory actions, working conditions.

### **Введение**

Процессы труда всегда динамичны, а технологии со временем устаревают. При этом этап идентификации опасностей характеризуется многообразием труднопредсказуемых во времени последствий опасностей при их воздействии на объект. Поэтому в общем случае при идентификации факторов, формирующих условия труда при эксплуатации технического средства (рисунок 1), принимаются во внимание все опасности, которые вызываются оборудованием и материалами, используемыми в производственном процессе, его технологическими особенностями, состоянием производственной среды и уровнем организации охраны труда [1–3]. Разные, порой не совпадающие, а иногда и противоположные взгляды на повышение безопасности производства объясняются высоким уровнем развития индустриального труда, активным применением техники и промышленных технологий, а также тем, что занимаются вопросами повышения безопасности специалисты из разных областей знаний, используя при этом свои методические подходы, зачастую не отражающие специфику функционирования производственных циклов и производственной среды.



Рисунок 1 – Классификация факторов, формирующих условия труда при эксплуатации технического средства

### Основная часть

Решение проблемы повышения безопасности труда во многом зависит и от выбора эффективной системы управления производственными рисками [4]. Из года в год средние значения коэффициентов тяжести и частоты несчастных случаев на производстве остаются довольно высокими [5]. Причиной этому служит и то, что работы выполняются в условиях изменяющегося состояния производственной среды. При этом значительное количество травм с тяжелым исходом случается при выполнении технологических регулировок технических средств [6]. Так, при выполнении механизированных работ в условиях изменяющегося параметра состояния производственной среды оператору технического средства приходится многократно (десяtkи раз за смену) выполнять регулировки технического средства, что в дальнейшем сказывается на утомляемости и приводит к повышению риска травмирования оператора. Повышение безопасности (активной и пассивной) при эксплуатации технического средства требует разработки новых научно-методических подходов по выявлению «адресности» факторов риска, прогнозированию развития рискогенных ситуаций, своевременной разработки мер по снижению последствий их влияния [7, 8].

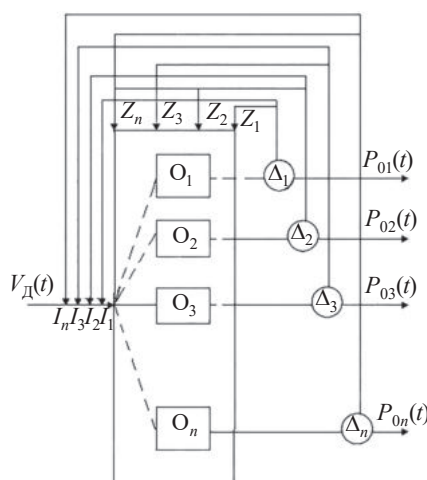


Рисунок 2 – Параметры активной безопасности технического средства при его эксплуатации: где  $V_d(t)$  – скорость технического средства;  $P_{01}(t)–P_{0n}(t)$  – вероятность безопасного выполнения регулировочного воздействия на техническое средство при нахождении операторов  $O_1–O_n$  в опасной зоне срабатывания предохранительного устройства;  $\Delta_1–\Delta_n$  – оптимальные допуски на отклонение параметров технологических воздействий (регулировок) от настроечных;  $I_1–I_n$ ;  $Z_1–Z_n$  – обратные связи, характеризующие управление активной безопасностью при эксплуатации технического средства с целью соблюдения оптимальных допусков на отклонения параметров  $P_{01}–P_{0n}$  от настроечных регулировок



Изменение состояния активной безопасности при эксплуатации технического средства рассмотрим на примере механизированного ухода за клюквенным покровом промышленных чеков (поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника). Следует отметить, что скорость движения технического средства в составе машинно-тракторного агрегата можно рассматривать как возмущающий входной параметр (рисунок 2), влияющий на уровень активной безопасности технического средства при обеспечении требуемой производительности и качества выполнения технологического процесса.

Выходные параметры –  $P_{01}(t)$ ,  $P_{02}(t)$ ,  $P_{03}(t)$ , –  $P_{0n}(t)$  с учетом показателей обратных связей оцениваются вероятностно-статистическими характеристиками случайной последовательности дискретных значений  $P_{0i}$  [9].

$$\begin{aligned} P_{01i} &= \frac{t_{01i}}{\left(T_{\text{см}} - \sum_{i=1}^m t_{01i}\right)}, \\ P_{02i} &= \frac{t_{02i}}{\left(T_{\text{см}} - \sum_{i=1}^m t_{02i}\right)}, \\ P_{03i} &= \frac{t_{03i}}{\left(T_{\text{см}} - \sum_{i=1}^m t_{03i}\right)}, \\ &\dots\dots\dots, \\ P_{0ni} &= \frac{t_{0ni}}{\left(T_{\text{см}} - \sum_{i=1}^m t_{0ni}\right)}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $T_{\text{см}}$  – время рабочей смены, ч;  $t_{0ni}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й технологической регулировки оператором технического средства, ч;  $m$  – количество технологических регулировок.

Следует также отметить, что обратные связи  $I_1 - I_n$ ,  $Z_1 - Z_n$  активной безопасности технического средства (рисунок 2) зависят от:

- параметров технологического процесса, выполняемого техническим средством при соблюдении эксплуатационных допусков  $\Delta_{1\text{э}} - \Delta_{0_{\text{нэ}}}$ ;
- повышения эффективности методов и технических средств охраны труда от соблюдения исполнительных допусков  $\Delta_{1\text{н}} - \Delta_{\text{ни}}$ .

Операторы технического средства ( $O_1 - O_n$ ) в контексте рассматриваемой системы (рисунок 2) при выполнении регулировочных воздействий в опасных зонах технического средства представляют собой рейтинги безопасности или амплитудно-частотные характеристики активной безопасности  $[R_{\sigma 1}(\omega)]^2 - [R_{\sigma n}(\omega)]^2$  [9]. В случае нормального распределения ординат процессов  $V_d(t)$  и  $P_{01}(t) - P_{0n}(t)$ , а также принадлежности их к классу стационарных и линейности модели, для управления активной безопасностью технического средства предлагается использовать метод идентификации, основанный на анализе свойств динамической системы, характеризующихся соотношением спектральных плотностей процессов на входе и выходе:

$$\begin{cases} r_{\sigma 1}(i\omega) = \frac{S_{P_{01}, V_d}(\omega)}{S_{P_{01}}(\omega)}, \\ r_{\sigma 2}(i\omega) = \frac{S_{P_{02}, V_d}(\omega)}{S_{P_{02}}(\omega)}, \\ r_{\sigma 3}(i\omega) = \frac{S_{P_{03}, V_d}(\omega)}{S_{P_{03}}(\omega)}, \\ \dots\dots\dots, \\ r_{\sigma n}(i\omega) = \frac{S_{P_{0n}, V_d}(\omega)}{S_{P_{0n}}(\omega)}; \end{cases} \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} [R_{\sigma_1}(\omega)]^2 = \frac{S_{P01}(\omega)}{S_{V_d}(\omega)}, \\ [R_{\sigma_2}(\omega)]^2 = \frac{S_{P02}(\omega)}{S_{V_d}(\omega)}, \\ [R_{\sigma_3}(\omega)]^2 = \frac{S_{P03}(\omega)}{S_{V_d}(\omega)}, \\ \dots\dots\dots, \\ [R_{\sigma_n}(\omega)]^2 = \frac{S_{P0n}(\omega)}{S_{V_d}(\omega)}, \end{array} \right. \quad (3)$$

где  $r_{\sigma_1}(\omega)$ ,  $r_{\sigma_2}(\omega)$ ,  $r_{\sigma_3}(\omega)$ ,  $\dots$ ,  $r_{\sigma_n}(\omega)$  – частотные характеристики активной безопасности технического средства при настроечных регулировках, предусмотренных для предохранительных устройств ( $i = 1; 2; 3 - n$ );  $[R_{\sigma_1}(\omega)]^2$ ,  $[R_{\sigma_2}(\omega)]^2$ ,  $[R_{\sigma_3}(\omega)]^2 - [R_{\sigma_n}(\omega)]^2$  – амплитудно-частотные характеристики активной безопасности технического средства при выполнении оперативных регулировок предохранительных устройств ( $i = 1; 2; 3 - n$ );  $S_{V_d}(\omega)$ ,  $S_{P01}(\omega)$ ,  $S_{P02}(\omega)$ ,  $S_{P03}(\omega) - S_{P0n}(\omega)$  – спектральные плотности процессов  $V_d(t)$  и  $P_{01}(t) - P_{0n}(t)$  выполнения технологических регулировок предохранительных устройств ( $i = 1; 2; 3 - n$ );  $S_{P01V_d}(\omega)$ ,  $S_{P02V_d}(\omega)$ ,  $S_{P03V_d}(\omega) - S_{P0nV_d}(\omega)$  – взаимные спектральные плотности процессов  $V_d(t)$  и  $P_{01}(t) - P_{0n}(t)$  при технологических регулировках соответствующих предохранительных устройств ( $i = 1; 2; 3 - n$ ).

Согласно выражению (3), амплитудно-частотные характеристики  $[R_{\sigma_1}(\omega)]^2 - [R_{\sigma_n}(\omega)]^2$  могут быть аппроксимированы выражениями вида:

$$\left\{ \begin{array}{l} [R_{\sigma_1}(\omega)]^2 = \frac{(a_1\omega^2 + I_1)K_1^2}{C_{I_1}\omega^4 + C_{Z_1}\omega^2 + I_1}, \\ [R_{\sigma_2}(\omega)]^2 = \frac{(a_2\omega^2 + I_2)K_2^2}{C_{I_2}\omega^4 + C_{Z_2}\omega^2 + I_2}, \\ [R_{\sigma_3}(\omega)]^2 = \frac{(a_3\omega^2 + I_3)K_3^2}{C_{I_3}\omega^4 + C_{Z_3}\omega^2 + I_3}, \\ \dots\dots\dots, \\ [R_{\sigma_n}(\omega)]^2 = \frac{(a_n\omega^2 + I_n)K_n^2}{C_{I_n}\omega^4 + C_{z_n}\omega^2 + I_n}; \end{array} \right. \quad (4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} [R_{\sigma_1}(\omega)]^2 = \frac{(d_{I_1}\omega^4 + d_{z_1}\omega^2 I_1)K_1^2}{C_{01}\omega^6 + C_{I_1}\omega^4 + C_{z_1}\omega^2 + I_1}, \\ [R_{\sigma_2}(\omega)]^2 = \frac{(d_{I_2}\omega^4 + d_{z_2}\omega^2 I_2)K_2^2}{C_{02}\omega^6 + C_{I_2}\omega^4 + C_{z_2}\omega^2 + I_2}, \\ [R_{\sigma_3}(\omega)]^2 = \frac{(d_{I_3}\omega^4 + d_{z_3}\omega^2 I_3)K_3^2}{C_{03}\omega^6 + C_{I_3}\omega^4 + C_{z_3}\omega^2 + I_3}, \\ \dots\dots\dots, \\ [R_{\sigma_n}(\omega)]^2 = \frac{(d_{I_n}\omega^4 + d_{z_n}\omega^2 I_n)K_n^2}{C_{0n}\omega^6 + C_{I_n}\omega^4 + C_{z_n}\omega^2 + I_n}, \end{array} \right. \quad (5)$$

которым соответствуют передаточные функции:

$$\left\{ \begin{array}{l} O_1(S) = K_1^2 \frac{\tau_{z1}S + I_1}{T_{z1}^2 S^2 + T_{z1}S + I_1}, \\ O_2(S) = K_2^2 \frac{\tau_{z2}S + I_2}{T_{z2}^2 S^2 + T_{z2}S + I_2}, \\ O_3(S) = K_3^2 \frac{\tau_{z3}S + I_3}{T_{z3}^2 S^2 + T_{z3}S + I_3}, \\ \dots\dots\dots, \\ O_n(S) = K_n^2 \frac{\tau_{zn}S + I_n}{T_{zn}^2 S^2 + T_{zn}S + I_n}, \end{array} \right. \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} O_1(S) = K_1^2 \frac{\tau_{I1}^2 S^2 + \tau_{z1}S + I_1}{T_{I1}^3 S^2 + T_{z1}^2 S^2 + T_{z1}S + I_1}, \\ O_2(S) = K_2^2 \frac{\tau_{I2}^2 S^2 + \tau_{z2}S + I_2}{T_{I2}^3 S^2 + T_{z2}^2 S^2 + T_{z2}S + I_2}, \\ O_3(S) = K_3^2 \frac{\tau_{I3}^2 S^2 + \tau_{z3}S + I_3}{T_{I3}^3 S^2 + T_{z3}^2 S^2 + T_{z3}S + I_3}, \\ \dots\dots\dots, \\ O_n(S) = K_n^2 \frac{\tau_{In}^2 S^2 + \tau_{zn}S + I_n}{T_{In}^3 S^2 + T_{zn}^2 S^2 + T_{zn}S + I_n}, \end{array} \right. \quad (7)$$

где  $a_1 \dots a_n$ ,  $d_{I1} \dots d_{In}$ ,  $C_{z1, I1} \dots C_{zn, In}$ ,  $T_{z1, I1} \dots T_{zn, In}$ ,  $\tau_{z1, I1} \dots \tau_{zn, In}$  – коэффициенты, устанавливаемые в зависимости от факторов, влияющих на активную безопасность технического средства при его эксплуатации;  $K_n^2$  – коэффициент усиления влияния  $n$ -го фактора на активную безопасность технического средства при его эксплуатации.

На основании результатов поисковых исследований важнейшим фактором, влияющим на состояние активной безопасности технического средства для поднятия, расчесывания и обрезки стелющихся побегов клюквенника, является момент регулировки предохранительной муфты технического средства. Затягивание предохранительной муфты до полного схождения витков ее пружины соответствует состоянию отсутствия муфты на техническом средстве, так как вся силовая цепь от вала приема мощности до срабатывания муфты продолжает работать. В этом случае возможна ситуация деформации элементов рабочего органа технического средства – сдвоенных зубьев (технологический отказ). Это происходит при контакте зубьев с посторонними предметами на чеке, попадающими с его откосов и дамб в результате технологического отвода воды с чека в водоем-накопитель (эту воду используют в зимний период для затопления плантации и послойного вмораживания растений в лед). Если предохранительная муфта затянута слабо, то она срабатывает неоправданно часто, что снижает производительность механизированных работ по уходу за клюквенным чеком. Рациональной регулировкой предохранительного устройства считается та, при которой время ее выполнения ( $t_{on i}$ ) при нахождении оператора технического средства в опасных зонах регулировки будет минимальным ( $t_{on i} \rightarrow \min$ ). При этом зависимость  $P(t) = f(n, t)$  достигается за счет сокращения количества технологических регулировок ( $m$ ) и времени их выполнения ( $t$ ) при неизменном их количестве.

В связи со случайным характером распределения технологических регулировок по отдельным исполнительным органам технического средства, а также вероятностью их выполнения в опасных зонах при его эксплуатации, оптимальное количество технологических регулировок по условию максимальной безопасности оператора технического средства обосновывается, исходя из

вероятностно-статистических характеристик процессов  $P_{01}(t) - P_{0n}(t)$ , которые, в свою очередь зависят от вероятностно-статистических характеристик процесса  $V_d(t)$  и амплитудно-частотных характеристик  $[R_{\sigma 1}(\omega)]^2 - [R_{\sigma n}(\omega)]^2$  активной безопасности технического средства. Стратегия оптимизации этих характеристик определяется исходя из физического смысла функции спектральных плотностей  $S_{P_{01}}(\omega) - S_{P_{0n}}(\omega)$  процессов  $P_{01}(t) - P_{0n}(t)$ , что позволяет определить преобладающий спектр  $\omega_{01} - \omega_{0n}$  колебаний параметра и соответствующую ему дисперсию процесса. Исходя из логической сущности этих процессов, параметры  $\omega_{01} - \omega_{0n}$  характеризуют преобладающую частоту технологических регулировок, а  $D_{01} - D_{0n}$  – длительность их сохранения.

Для обоснования оценочных показателей удобства безопасного проведения технологической регулировки технического средства использовался математический аппарат теории целенаправленной механики человека, поскольку тело человека можно моделировать в виде агрегата твердых тел (звеньев), связанных между собой при помощи как подвижных, так и неподвижных соединений [10]. Положение рассматриваемой модели – модели руки человека, состоящей из трех звеньев («трехзвенник») и способной вращаться относительно вертикальной оси, определялось углами ориентации звеньев «трехзвенника» в его плоскости, если точка крепления опорного сустава «трехзвенника» к плечевому суставу неподвижна или движется заранее заданным образом. Результаты проведенных исследований позволяют оценивать область удобства (досягаемости) технологической регулировки ( $F$ ) с учетом физиологически возможных показателей положения тела и рук работника (таблица 1), антропометрических его характеристик и условий выполнения регулировочных работ [10]:

$$F = \left[ \sqrt{(x_E - x_D)^2 + (y_E - y_D)^2} - (l_1 + l_2 + l_3/2) \right] K_a K_{т.р.}, \quad (8)$$

где  $x_E, y_E$  – координаты конечной точки «трехзвенника», принадлежащей звену, имитирующему кисть руки, находящуюся в положении после выполнения регулировки;  $x_D, y_D$  – координаты точки крепления опорного сустава «трехзвенника» (руки) к плечевому суставу (надплечью);  $l_1, l_2, l_3$  – длины звеньев «трехзвенника», имитирующих соответственно плечо, предплечье, кисть;  $K_a$  – коэффициент, учитывающий антропометрические характеристики (таблица 2);  $K_{т.р.}$  – коэффициент, учитывающий условия выполнения технологической регулировки технического средства (таблица 1).

Область удобства (досягаемости) для выполнения технологической регулировки технического средства оценивается в пять баллов (наивысший балл), если выполняется условие [10]:

$$\left[ \sqrt{(x_E - x_D)^2 + (y_E - y_D)^2} - (l_1 + l_2 + l_3/2) \right] K_a K_{т.р.} < 0. \quad (9)$$

Показатель безопасности проведения регулировочных работ определяется с учетом вероятности нахождения оператора технического средства в опасных зонах при выполнении технологических регулировок, наличия (отсутствия) дополнительного оборудования и др.

**Таблица 1 – Исходные данные для оценки «удобства» выполнения технологической регулировки технического средства [10]**

Положение тела оператора технического средства	Положение рук	Коэффициент $K_{т.р.}$	
		Оценка	
		в отн. ед.	баллах
1. Стоя или сидя	перед собой на уровне груди	1,0	5
2. То же, что в п. 1	над головой	0,8	4
3. Стоя или сидя с поворотом или наклоном туловища до 90°	то же, что в п. 1	0,8	4
4. В приседе	то же, что в п. 1	0,6	3
5. То же, что в п. 3	сбоку с изгибом, работа левой рукой	0,4	2
6. Стоя, в приседе или сидя с поворотом и наклоном туловища до 90°	то же, что в п. 1	0,4	2
7. Сидя, стоя, подтягиваясь	над головой или сбоку	0,2	1
8. Лежа на спине	перед собой на уровне груди, сбоку, над головой	0,2	1
9. Работа с использованием дополнительных опор и др.	перед собой на уровне груди, сбоку, над головой	0,2	1

Таблица 2 – Результаты исследований антропометрических характеристик работников [10]

Количество замеров	Группа роста	Длина, мм						Коэффициент, $K_a$
		плечо		предплечье		кость		
		муж.	жен.	муж.	жен.	муж.	жен.	
5	А	317	291	238	220	172	160	0,91
5	Б	331	295	251	227	177	168	0,91
5	В	335	301	254	236	182	173	0,92
5	Г	337	312	277	244	189	181	0,94
5	Д	340	319	280	251	199	191	0,92

Частое выполнение регулировочных воздействий на техническое средство при неудобном расположении узлов технологических регулировок приводит к повышению физической нагрузки в области шейного и поясничного отдела позвоночника, быстрому утомлению оператора, болевым ощущениям в суставах. Эти последствия могут стать причиной как развития ряда профессиональных заболеваний, так и причиной снижения производственной безопасности. Для повышения пассивной безопасности эксплуатации технического средства, улучшения условий труда, снижения негативных последствий выполнения регулировочных воздействий в труднодоступных местах нами предлагается специальное техническое устройство (рисунок 3), устанавливаемое под мышцу спинного или шейного отделов позвоночника. Оператор технического средства, надавливая своим весом на выступы технического устройства, ориентируется на появление небольшой боли в мышцах. При этом в момент надавливания происходит рефлекторное расслабление сжатой мышцы. Время массажа на одном участке позвоночника составляет от двух до пяти минут. Снятие мышечного спазма способствует освобождению корешков спинного мозга, улучшает функции внутренних органов, нервируемых этими нервными каналами [12], что в итоге способствует повышению работоспособности оператора технического средства при выполнении регулировочных работ.

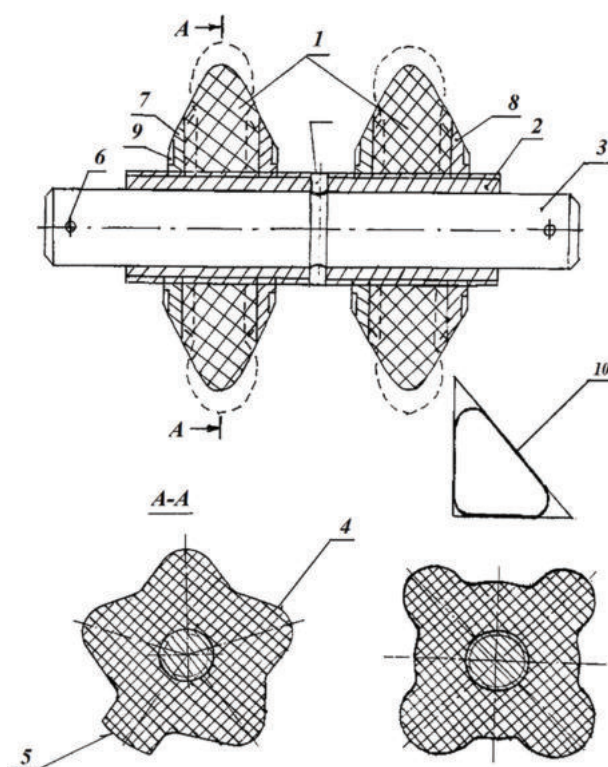


Рисунок 3 – Техническое устройство для массажа мышц спины и шеи [11]:

1 – корпус; 2 – втулка; 3 – ось; 4, 5 – массирующий элемент; 6 – верхнее отверстие;  
7 – левый прижимной диск; 8 – правый прижимной диск; 9 – ребра-зацеп; 10 – опорная поверхность



## Заключение

В результате проведенных исследований обоснованы параметры активной безопасности и оценочные показатели удобства безопасного проведения технологических воздействий на узел технического средства. Предложено патентное решение для поддержания работоспособности оператора технического средства при выполнении труднодоступных регулировок.

## Список использованных источников

1. О внесении изменений и дополнений в Закон Республики Беларусь «Об охране труда» // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь : [сайт]. – Минск, 2003–2024. – URL: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=N10800356> (дата обращения: 10.10.2024).
2. Алексеенко, А. С. Условия труда и безопасность работы операторов мобильных сельскохозяйственных машин в АПК Республики Беларусь / А. С. Алексеенко, М. В. Цайц // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 1. – С. 280–285.
3. Производственный травматизм операторов сельскохозяйственных машин в Республике Беларусь и пути его профилактики и минимизации / А. С. Алексеенко, М. В. Цайц, А. Н. Кудрявцев [и др.] // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 1. – С. 90–93.
4. Мисун, А. Л. Анализ причин и видов профессиональных рисков / А. Л. Мисун, И. Н. Мисун // Инновационная деятельность в модернизации АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Курск, декабрь 2016 г. / Курск. гос. с.-х. акад. ; редкол.: В. А. Семькин [и др.]. – Ч. 2. – Курск, 2017. – С. 241–245.
5. Организационно-технические мероприятия для повышения безопасности и улучшения условий труда операторов мобильной сельскохозяйственной техники / Л. В. Мисун, В. А. Агейчик, А. Л. Мисун [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2012. – 192 с.
6. Мисун, А. Л. Оценка производственного риска при возделывании сельскохозяйственных культур / А. Л. Мисун // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. – 2017. – № 11. – С. 134–139.
7. Мисун, А. Л. Прогнозирование безопасного использования сельскохозяйственных машин в растениеводстве по их показателю приспособленности к выполнению технологических регулировок / А. Л. Мисун // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. – 2021. – № 3. – С. 2–10.
8. Мисун, Л. В. Профессиональный отбор операторов мобильной сельскохозяйственной техники как метод предупреждения производственного травматизма в АПК / Л. В. Мисун, А. Н. Гурина, А. Л. Мисун // Агропанорама. – 2011. – № 5. – С. 45–48.
9. Белова, Т. И. Обеспечение технологической безопасности картофелеуборочных машин / Т. И. Белова, Л. М. Маркарянц. – Брянск : Брянская ГСХА, 2011. – 251 с.
10. Мисун, А. Л. Прогнозирование удобства выполнения технологических регулировок технических средств с учетом антропометрических характеристик работника и условий их проведения / А. Л. Мисун // Горная механика и машиностроение. – 2023. – № 1. – С. 75–81.
11. Патент ВУ 13205. Устройство для самомассажа глубоких мышц спины и шеи оператора мобильной сельскохозяйственной техники при проведении регулировочных работ лежа в случае неудобного расположения узлов технологических регулировок : опубл. 30.04.2023 / А. Л. Мисун, Л. В. Мисун, О. Г. Агейчик, В. А. Агейчик.
12. Мисун, Л. В. Физиологические и медико-биологические основы безопасности жизнедеятельности : учеб.-метод. пособие / Л. В. Мисун, А. Л. Мисун, И. Н. Мисун. – Минск : БГАТУ, 2021. – 200 с.

**В. В. Русских, В. Г. Андруш, Г. И. Белохвостов, А. Н. Гурина, Н. Н. Жаркова, С. А. Корчик**

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*E-mail: v.g.andntsh.uot@bsatu.by*

## **БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА ПРИ РАБОТЕ КРУПНОГАБАРИТНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ПОД ЛИНИЯМИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

*Аннотация.* В статье проанализировано состояние производственной безопасности при работе крупногабаритной сельскохозяйственной техники (КСХТ) под линиями электропередачи (ЛЭП), разработан перечень основных требований безопасности под ЛЭП, приведены результаты расчета напряженности электрического поля ЛЭП напряжением 110 кВ.

Выполнен сравнительный анализ теоретических и экспериментальных данных. Для снижения риска травматизма электрическим током оператора разработано устройство, сигнализирующее о приближении техники к ЛЭП на недопустимое расстояние.

*Ключевые слова:* охрана труда, безопасность, линии электропередачи (ЛЭП), крупногабаритная сельскохозяйственная техника (КСХТ), электрический ток, обнаружение, сигнализация, приближение к ЛЭП.

**V. V. Russkih, V. G. Andrush, G. I. Belohvostov, A. N. Gurina, N. N. Zharkova, S. A. Korchik**

*El "Belarusian State Agrarian Technical University"*

*Minsk, Republic of Belarus*

*E-mail: v.g.andntsh.uot@bsatu.by*

## **OCCUPATIONAL SAFETY WHEN OPERATING LARGE AGRICULTURAL EQUIPMENT UNDER POWER LINES**

*Abstract.* The article analyzes the state of industrial safety when operating large-sized agricultural machinery under power lines. The list of basic safety requirements under power lines is developed. The results of calculation of electric field strength of 110 kV power lines are given. The comparative analysis of theoretical and experimental data is carried out. To reduce the risk of electric current injury of the operator, a device signaling the approach of machinery to power lines at an unacceptable distance is developed.

*Keywords:* labor protection, safety, large-sized agricultural machinery, electric current, detection, signaling, approaching power lines.

### **Введение**

ЛЭП связывают между собой электростанции и потребителей электрической энергии, часто они проходят по населенной местности и по территориям сельскохозяйственного назначения.

По данным Государственного производственного объединения электроэнергетики (ГПО) в Республике Беларусь протяженность электрических сетей всех классов напряжений составляет 280 000 км, а по СНГ общая протяженность только ЛЭП–500 кВ превышает 20 000 км (помимо ЛЭП–150 кВ, ЛЭП–300 кВ и ЛЭП–750 кВ) [1–3]. Применение ЛЭП приводит к созданию электромагнитных полей промышленных частот (50 Гц), которые в сотни раз выше среднего уровня естественных полей. Напряженность поля (Е) под ЛЭП может достигать десятков тысяч вольт на метр (В/м) [3]. В то же время, учитывая, что ремонтпригодность воздушных неизолированных ЛЭП высокая, а стоимость низкая, вряд ли в ближайшей перспективе будет возможным полный переход на кабельные.

При выполнении работ вблизи воздушных ЛЭП возможен риск приближения КСХТ на недопустимое расстояние к ним [4, 5], это приводит к пробоем воздушного промежутка и появлению электрической дуги или к контакту металлических частей машин и механизмов с провисшими,

оборванными, оголенными проводами, что влечет за собой появление опасных электрических потенциалов, способных привести к электротравме оператора и даже летальному исходу.

Целью данной статьи является проведение анализа случаев электротравматизма при работе КСХТ под ЛЭП, исследование изменения напряженности электрического поля при удалении от ЛЭП и разработка устройства для обнаружения и сигнализации при приближении к ЛЭП.

### Основная часть

Согласно собранной и подтвержденной Департаментом государственной инспекции труда Республики Беларусь информации за период 2019–2023 гг. зафиксировано 12 несчастных случаев, связанных с поражением электрическим током от ЛЭП, в том числе 6 – со смертельным исходом [6].

С целью снижения вероятности травмирования операторов при проведении работ на КСХТ у ЛЭП были проанализированы основные требования безопасности [7, 8].

1. Использование грузоподъемных машин для выполнения работ в охранной зоне ЛЭП должно производиться по наряду-допуску.

2. Движение машин под проводами воздушной ЛЭП допускается только в транспортном положении, в месте наименьшего провисания проводов. Маршрут перемещения должен быть указан в путевом листе.

3. При приближении к воздушным ЛЭП запрещено находиться на бункере комбайна.

4. Допускается работа одной машины в охранной зоне ЛЭП при условии одновременной работы второй машины, при этом машины должны находиться друг от друга не менее 200 м.

5. В случае соприкосновения частей машины с токоведущими проводами, оператору необходимо как можно быстрее отвести их от токоведущих частей.

6. Запрещается:

- производить работы ближе 2 м от проводов воздушной ЛЭП;
- приближаться к оборванным и лежащим на земле проводам ближе 8 м;
- работать во время грозы или при приближении грозы;
- совершать любые остановки в охранной зоне воздушной ЛЭП;
- движение машин и механизмов, имеющих общую высоту с грузом или без груза от поверхности дороги более 4,5 м (в охранных зонах воздушных ЛЭП).

Машины и механизмы на пневматическом ходу, находящиеся в охранных зонах воздушных ЛЭП 330 кВ, должны иметь заземление. В роли заземлителя допускается использовать металлическую цепь, соединенную с кузовом или рамой и касающуюся земли. Работы должны выполнять два человека, один из которых назначается наблюдающим.

Если вследствие электрического разряда происходит возгорание КСХТ, оператор и обслуживающий персонал должны ее немедленно покинуть. Необходимо, не держась за машину, прыгнуть на землю на обе согнутые ноги и удалиться от нее более чем на 8 м прыжками на одной ноге или на двух сомкнутых вместе, или же «гусиным шагом» (пятка шагающей ноги, не отрываясь от земли, приставляется к носку другой ноги).

Существуют установленные минимальные расстояния от наивысшей точки машины или груза на транспортных средствах до проводов ЛЭП при ее приближении или пересечении [4, 5]. Однако оператору КСХТ сложно визуально определить расстояние до проводов высоковольтной линии (ВЛ) в силу различных причин (провисание, обрывы проводов, отсутствие у оператора мобильной техники средств контроля и измерения, незнание нормативов, отсутствие информации о напряжении ВЛ, плохая видимость, неблагоприятные метеорологические условия и т. п.).

Поэтому в дополнение к существующим основным требованиям безопасности, которые следует соблюдать при эксплуатации КСХТ под линиями электропередачи в ситуациях, повышающих риск травмирования оператора, рекомендуется также применять специальные технические устройства, предупреждающие об опасности (сигнализирующие, визуализирующие, регистрирующие и др.).

Расстояние от приближающейся техники до проводов воздушной ЛЭП можно определить по величине напряженности электромагнитного поля. За основу методики расчета напряженности электрического и магнитного полей была положена теорема Гаусса [9, 10].

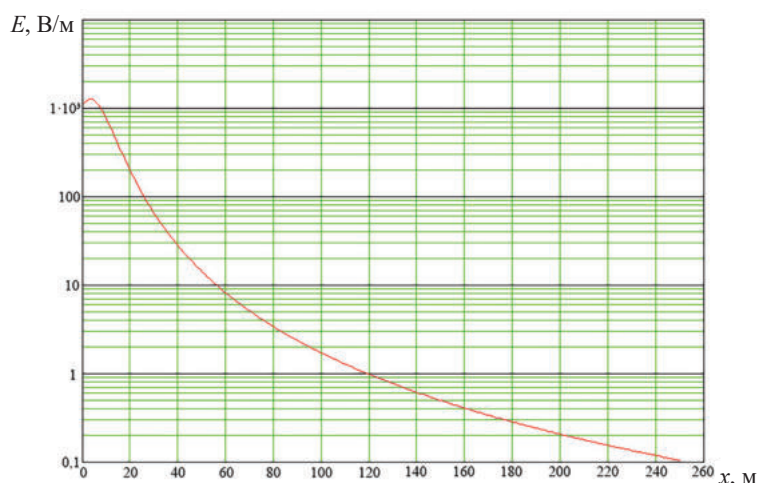


Рисунок 1 – Расчетные данные распределения напряженности электрического поля ( $E$ ) ЛЭП в поперечном направлении к оси ЛЭП

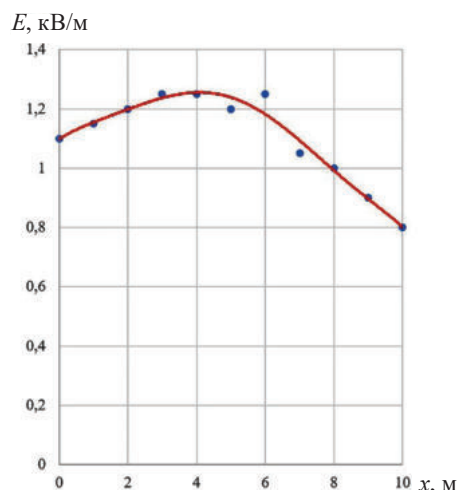


Рисунок 2 – Экспериментальные данные распределения напряженности электрического поля ( $E$ ) ЛЭП в поперечном направлении к оси ЛЭП



Рисунок 3 – Модель разработанного сигнализатора

На рисунке 1 представлены расчетные данные распределения напряженности электрического поля ЛЭП в поперечном направлении к оси ЛЭП.

Наиболее подробно с результатами расчета можно ознакомиться в статье [11].

Для экспериментального определения картины распространения электромагнитного поля ЛЭП в окружающей среде был использован сертифицированный в Республике Беларусь измеритель напряженности электрических и магнитных полей ПЗ–80.

Для измерений была выбрана ЛЭП «Северная – Восточная» напряжением 110 кВ. Высота замера составляла 2 м. Результаты измерений представлены на рисунке 2.

Результаты измерений позволяют сделать вывод, что полученные данные имеют нелинейную зависимость. Картина распространения электрического поля показывает, что с увеличением расстояния от проводов ЛЭП его величина убывает, но наблюдается разброс показаний прибора, влияние на которые оказывают условия измерения и техногенная обстановка окружающей среды. Аппроксимировав исходные значения, получим близкую сходимость с теоретическими данными.

Для проведения экспериментов была изготовлена модель сигнализатора (рисунок 3), которая показала свою работоспособность как в лабораторных, так и в полевых условиях. При приближении к ЛЭП срабатывает световая и звуковая сигнализация.

Результаты проведенных испытаний разработанного сигнализатора (рисунок 3) подтвердили его чувствительность и показали, что порог срабатывания в 4 раза превышает расстояние наибольшего тормозного пути комбайна [12, 13].

### Заключение

В статье проанализировано состояние производственной безопасности при проведении работ с использованием крупногабаритной техники вблизи ЛЭП. Разработан перечень основных требований безопасности под ЛЭП. Приведены результаты расчета напряженности электрического

поля ЛЭП напряжением 110 кВ. Выполнен сравнительный анализ теоретических и полученных экспериментальных данных.

Результаты эксперимента подтвердили, что с увеличением расстояния от проводов ЛЭП напряженность электрического поля убывает обратно пропорционально кубу расстояния до точки наблюдения, близкой к параболической. В показаниях прибора ПЗ–80 просматривается разброс, на работу которого оказывают условия измерения и техногенная обстановка окружающей среды. Аппроксимировав исходные значения, получим близкую сходимость с теоретическими данными.

По результатам проведенных исследований разработано «Устройство для обнаружения и сигнализации при приближении к ЛЭП», имеющее высокую чувствительность, порог его срабатывания в 4 раза превышает расстояние наибольшего тормозного пути комбайна.

### Список использованных источников

1. Акимов, М. Н. Основы электромагнитной безопасности : учеб. пособие / М. Н. Акимов, С. М. Аполлонский. – СПб. : Лань, 2016. – 200 с.
2. Интернет-портал Белэнерго Республики Беларусь [сайт] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2022. – URL: <https://www.energo.by/> (дата обращения: 20.11.2024).
3. Промышленная экология : учеб. пособие ; под ред. В. В. Денисова. – 2-е изд. – Ростов н/Д : МарТ, 2011. – 720 с.
4. Правила по охране труда в сельском и рыбном хозяйствах : постановление М-ва сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь от 5 мая 2022 г. № 29/44 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2022. – № 8/38408.
5. Электроустановки на напряжение до 750 кВ. Линии электропередачи воздушные и токопроводы, устройства распределительные и трансформаторные подстанции, установки электросиловые и аккумуляторные, электроустановки жилых и общественных зданий. Правила устройства и защитные меры электробезопасности. Учет электроэнергии. Нормы приемо-сдаточных испытаний = Электраўстаноўкі на напружанне да 750 кВ. Лініі электраперадачы паветраныя і токаправоды, усталюванні размеркавальныя і трансфарматарныя падстанцыі, устаноўкі электрасілавых і акумулятарных, электраўстаноўкі жылых і грамадскіх будынкаў. Правілы ўстройства і ахоўныя меры электрабяспекі. Улік электраэнергіі. Нормы прыёма-здачных выпрабаванняў : ТКП 339-2022 (33240). – Введ. 18.10.2022. – Минск. – 600 с.
6. Русских, В. В. Об актуальности оснащения крупногабаритной сельскохозяйственной техники устройствами сигнализации о приближении к воздушным линиям электропередач / В. В. Русских // Техника и технология пищевых производств : материалы XV Юбилейной Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 19–20 апреля 2023 г. : в 2 т. / Белорус. гос. ун-т пищевых и химических технологий. – Могилев : БГУТ, 2023. – Т. 2. – С. 320–321.
7. Электробезопасность при производстве сельскохозяйственных работ. – URL: <https://www.energo.by/content/elektrobezopasnost/elektrobezopasnost-pri-proizvodstve-selskokhozyaystvennykh-rabot> (дата обращения: 20.11.2024).
8. Соблюдение требований безопасности при проведении сельскохозяйственных работ вблизи ЛЭП. – URL: <https://mshp.gov.by/ohranatruda/b0d6f75a37269b70.html> (дата обращения: 20.11.2024).
9. Электрическое и магнитное поля высоковольтной воздушной линии на удалении от нее / Б. К. Сивяков, А. А. Скрипкин, Д. Б. Сивяков, А. В. Цыганков // Вестник Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А. – 2015. – № 3. – С. 200–206.
10. Андруш, В. Г. Комплекс технических решений, повышающих безопасность работы зерноуборочного комбайна под линиями электропередач / В. Г. Андруш, Г. И. Белохвостов, В. В. Русских // Актуальные проблемы устойчивого развития сельских территорий и кадрового обеспечения АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск 3–4 июня 2021 г. ; редкол.: Н. Н. Романюк [и др.]. – Минск, БГАТУ, 2021. – С. 343–346.
11. К вопросу распознавания воздушных линий электропередачи по наводимому электромагнитному полю / В. В. Русских, Г. И. Белохвостов, В. Г. Андруш, А. И. Зеленкевич // Агропанорама. – 2024. – № 1. – С. 33–38.
12. Устройство для обнаружения и сигнализации при приближении к линии электропередач: положительный результат предварительной экспертизы по заявке на выдачу патента на изобретение : № а 20210180 : заявлено : 21.06.2021МПК G 01R 31/34 / В. Г. Андруш, Г. И. Белохвостов, В. В. Русских, А. А. Пинчук.
13. Безопасность при работе сельскохозяйственной техники под линиями электропередач = Safety when operating agricultural machinery under power lines / В. Г. Андруш [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межведомственный тематический сборник. – Минск : Беларус. навука, 2022. – Вып. 55. – С. 313–316.



**В. Е. Тарасенко<sup>1</sup>, О. Ч. Ролич<sup>2</sup>, А. А. Жешко<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>ООО «ЮНИК ЛАБ»

Минская область, Минский район,

д. Королищевичи, Республика Беларусь

<sup>3</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»

г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: azeshko@gmail.com

## **ПРОГРАММНЫЙ ДРАЙВЕР ЦИФРОВЫХ ДАТЧИКОВ ВИБРАЦИИ, ВХОДЯЩИХ В СОСТАВ МНОГОКАНАЛЬНОГО ПРИБОРА ИНТЕГРИРОВАННОГО ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО И ТЕПЛОВОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ**

*Аннотация.* Разработан программный многоканальный драйвер цифровых датчиков вибрации, входящих в состав многоканального прибора интегрированного виброакустического и теплового диагностирования. Создана возможность считывания и записи данных одновременно с трех датчиков вибрации. Выполнение данной операции позволяет реализовать временной период применяемого датчика MPU9150 / MPU9250 с предельной частотой обновления данных, равной 1 000 отсчетов/с. Датчик вибрации можно подсоединять «на ходу» при работающем приборе, а сохраняемый на USB flash-диске файл данных имеет стандартный общеизвестный wav-формат, легко обрабатываемый любым современным программно-математическим пакетом.

*Ключевые слова:* прибор, драйвер, диагностирование, датчик, вибрация, схема, файл.

**V. E. Tarasenko<sup>1</sup>, O. C. Rolich<sup>2</sup>, A. A. Zheshko<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>EI “Belarusian State Agrarian Technical University”

Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>ООО “UNIC LAB”

Minsk region, Minsk district,

vil. Korolishchevichi, Republic of Belarus

<sup>3</sup>RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”

Minsk, Republic of Belarus

E-mail: azeshko@gmail.com

## **SOFTWARE DRIVER FOR DIGITAL VIBRATION SENSORS INCLUDED IN THE MULTICHANNEL INTEGRATED VIBROACOUSTIC AND THERMAL DIAGNOSTICS DEVICE**

*Abstract.* A software multichannel driver for digital vibration sensors included in the multichannel device of integrated vibroacoustic and thermal diagnostics has been developed. The ability to read and write data simultaneously from three vibration sensors has been created. Performing this operation allows implementing the time period of the applied MPU9150 / MPU9250 sensor with a maximum data update rate of 1 000 readings/s. The vibration sensor can be connected “on the go” when the device is running, and the data file saved on the USB flash drive has a standard well-known wav format, easily processed by any modern software and mathematical package.

*Keywords:* device, driver, diagnostics, sensor, vibration, diagram, file.

### **Введение**

В ходе выполнения комплекса научно-исследовательских работ по диагностированию авто-тракторных двигателей была разработана многоканальная система (прибор) интегрированного виброакустического и теплового диагностирования [1, 2]. Одним из этапов работы явилось созда-

ние программного драйвера (далее – ПД) цифровых датчиков вибрации многоканального прибора интегрированного виброакустического и теплового диагностирования. Драйвер предназначен для получения сигнала с выбранного пользователем цифрового датчика вибрации MPU9150 или MPU9250 с возможностью записи сигнала на USB flash-диск.

Исходя из назначения, ПД должен поддерживать следующие функции:

- обеспечение выбора пользователем необходимого датчика вибрации;
- определение целостности подключения датчика вибрации к прибору интегрированного виброакустического и теплового диагностирования (далее – прибор);
- информирование пользователя об отсутствии датчика вибрации в случае его неподключения к прибору, пропадания или ненадежности контакта;
- получение сигнала с выбранного пользователем подключенного датчика вибрации;
- детектирование активности flash-диска по USB-порту прибора;
- запись сигнала с датчика вибрации по команде пользователя на USB flash-диск.

### Основная часть

Согласно полной принципиальной электрической схеме, к прибору можно подключить 8 цифровых акселерометрических датчиков вибрации MPU9150/MPU9250. Для этого задействованы все аппаратные I2C-порты базового микроконтроллера DD1 STM32F407VGT6:



- порт 1: PA8/I2C3\_SCL, PC9/I2C3\_SDA;
- порт 2: PB10/I2C2\_SCL, PB11/I2C2\_SDA;
- порт 3: PB6/I2C1\_SCL, PB7/I2C1\_SDA;
- порт 4: PB8/I2C1\_SCL, PB9/I2C1\_SDA.

Для включения акселерометра-датчика вибрации MPU9150/MPU9250 в шину I2C в нем в соответствии с документацией предусмотрена единственная линия AD0 вариации аппаратного адреса в I2C-шине. В связи с этим в одной шине I2C могут работать только два акселерометрических датчика MPU9150 / MPU9250, причем одному из них со значением AD0, равным нулю, устанавливается 7-битный бинарный логический адрес 1101000, а второму, с AD0 = 1, адрес 1101001. Поэтому порт 1 (I2C3 в составе PA8, PC9) электрически связан с двумя разъемами XP1/XP2 прибора (и принципиальной электрической схемы соответственно), к одному из которых подключается датчик с AD0 = 0, а ко второму – с AD0 = 1. Аналогично I2C-порт 2 (I2C2 в составе PB10, PB11) выведен на разъемы XP3/XP4 прибора, порт 3 (I2C1 в составе PB6, PB7) – на XP6/XP7, порт 4 (I2C1 в составе PB8, PB9) – на XP8/XP9.

Описанные подключения схематично изображаются фрагментом полной принципиальной электрической схемы, он приведен на рисунке 1.

Таким образом, подключение внешних датчиков вибрации MPU9150 или MPU9250 к прибору осуществляется по интерфейсу I2C через разъемы XP1–XP4 и XP6–XP9 типа DS1110-01-4. В связи с нюансом формата байта адреса применяемых датчиков вибрации к одной шине I2C возможно подключение только двух однотипных датчиков. Поэтому каждый I2C-порт базового микроконтроллера соединен с двумя разъемами внешних датчиков с таким расчетом, что к одной I2C-шине микроконтроллера подключаются два внешних датчика вибрации с адресами 0 и 1 соответственно.

Изображенный на рисунке 2 интерфейс пользователя для выбора датчика вибрации реализует все вышеперечисленные функции программного драйвера на пользовательском уровне.

В связи с относительно небольшим количеством датчиков вибрации, подключаемых к прибору, выбор пользователем необходимого датчика осуществляется круговым способом от единицы до девяти (девятый датчик LIS3D встроен непосредственно в корпус прибора и взаимодействует с базовым микроконтроллером по SPI-интерфейсу) и повторно по кругу с возвратом к единице, т. е. к первому датчику, с помощью кнопки «» в правом верхнем углу экрана. При нажатии на кнопку «» основные визуальные изменения претерпевают только номер акселерометра в центральной верхней зоне и первая часть имени wav-файла, что в центральной нижней зоне экрана.

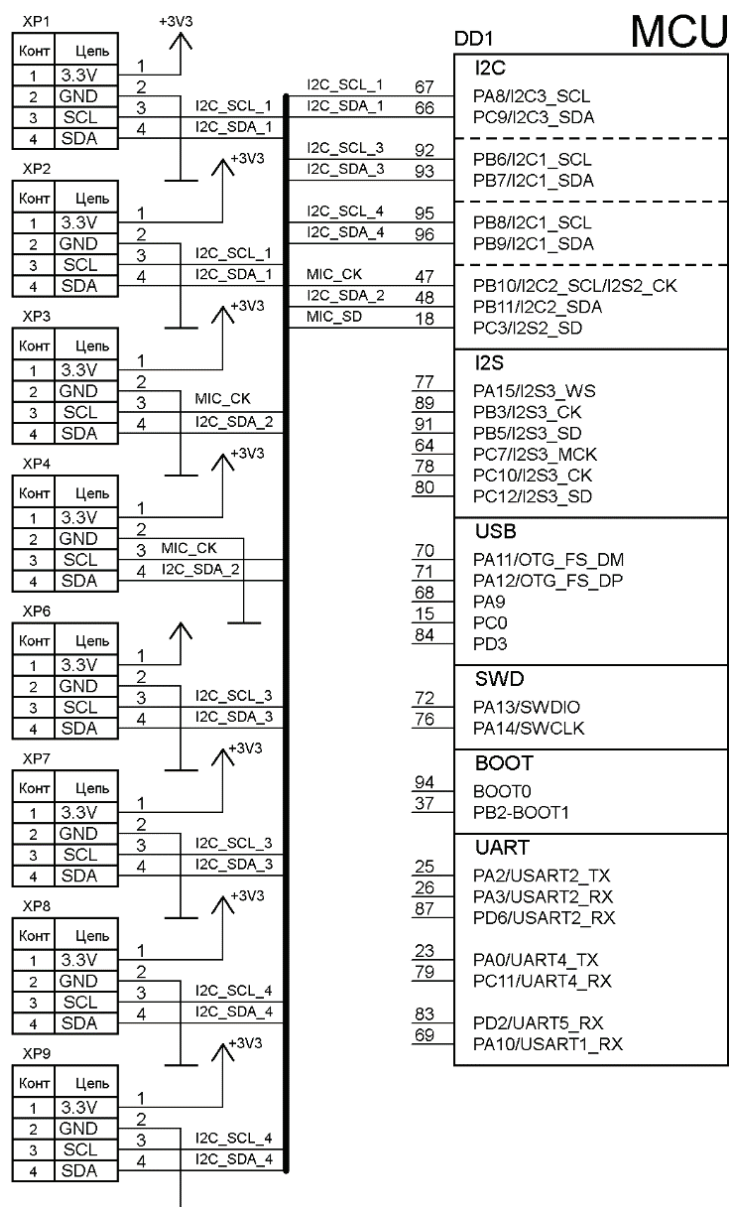


Рисунок 1 – Фрагмент полной принципиальной электрической схемы прибора относительно связи I2C-портов с базовым микроконтроллером DD1

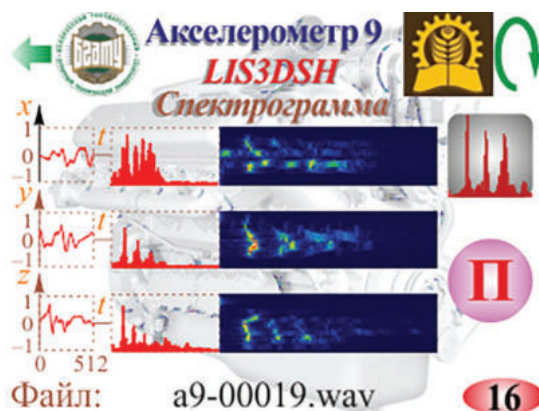


Рисунок 2 – Интерфейс пользователя выбора датчика вибрации, отображения его сигнала, сигнального аналитического ансамбля и записи сигнала на внешний USB flash-диск

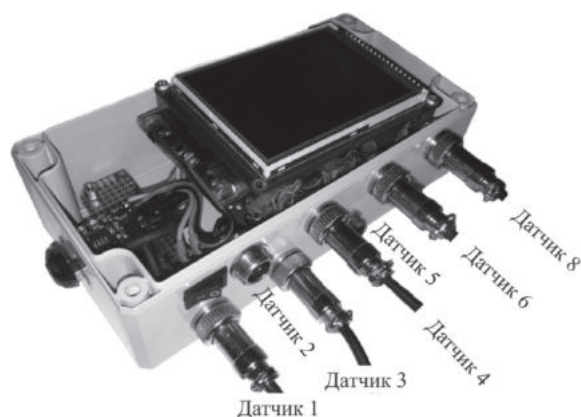





Рисунок 3 – Соответствие номеров датчика вибрации приборному разъему

В режиме анализа вибросигнала на экране, кроме кнопки «» выбора датчика вибрации и статического текста, также присутствуют области отображения сигнала по трем осям  $x$ ,  $y$ ,  $z$  и аналитического ансамбля в составе амплитудных спектров для спектрограммы, распределений отсчетов сигнала по уровням – для гистограммы, графиков отсортированных числовых отсчетов по возрастанию – для рангограммы. Переключение вида аналитического ансамбля от спектрограммы к гистограмме и рангограмме реализуется кнопкой «» (в правой зоне экрана немногим выше его середины) круговым способом. При этом слово «Спектрограмма» в центральной верхней области заменяется соответственно на «Гистограмма» и «Рангограмма». Для выбора окна анализа (прямоугольного, Хэмминга или Блэкмана) применяется кнопка круглой формы, расположенная непосредственно под кнопкой переключения вида аналитического ансамбля.

Соответствие номеров датчика вибрации, отображаемого после слова «Акселерометр», приборному разъему представлено на рисунке 3. Все датчики с нечетными номерами подключаются к разъему нижнего ряда в порядке слева направо, датчики с четными номерами – к верхнему разъему.

Нарушение контакта с датчиком, его отключение или отсутствие сопровождается появлением в строке с названием датчика, что под словом «Акселерометр», слова «контакт?» на красном фоне.

Программа прибора постоянно контролирует активность USB-порта, и при детектировании подключения к нему flash-диска в правой нижней экранной зоне активируется кнопка (в неактивном виде она отображается как «»), предоставляющая возможность записи сигнала в wav-файл диска. Имя файла генерируется автоматически и указывается в центре нижней зоны экрана, а в активированной кнопке разрешения записи файла на диск пишется примерный его объем в гигабайтах, ГБ: 4, 8, 16, 32.

Запись сигнала с датчика вибрации на USB flash-диск осуществляется по нажатию пользователем ранее активированной кнопки разрешения записи файла на диск, что в правом нижнем углу экрана, с указанным на ней примерным объемом диска. В процессе записи файла данная кнопка незначительно видоизменяется, к ней добавляется контурное кольцо ярко красного цвета, означающее процесс записи сигнала на диск. Также запись сопровождается очевидной цветовой динамикой в виде ежесекундной смены палитр визуализируемых графиков и аналитического ансамбля. Кнопка разрешения записи файла на диск работает в триггерном режиме, и повторное ее нажатие завершает процесс записи.

В программном модуле получения сигнала датчика вибрации сигнальные отсчеты от датчика вибрации параллельно поступают в модуль экранной отрисовки сигнала и в модуль подготовки его к записи на USB flash-диск.

Так как датчик вибрации взаимодействует с микроконтроллером по интерфейсу I2C в контексте ARM-архитектуры для STM-микроконтроллера, лежащего в основе прибора, используется следующая структура `mpu9x50_port_t`.

В ней выделяются три блока настраиваемых параметров: для линии ввода-вывода общего назначения, соответствующей сигналу SCL тактирования I2C-интерфейса, для линии ввода-вывода общего назначения, соответствующей сигналу SDA данных I2C-интерфейса, и непосредственно для I2C-интерфейса.

Так, в рамках порта 1: PA8 / I2C3\_SCL, PC9 / I2C3\_SDA поля приведенной структуры принимают значения:


```
- i2c_scl_gpio_port = GPIOA, i2c_scl_gpio_pin = GPIO_Pin_8, rcc_i2c_scl_gpio_ahb_clk = RCC_
  ANHB1Periph_GPIOA, i2c_scl_af = GPIO_AF_I2C3, i2c_scl_af_source = GPIO_PinSource8;
- i2c_sda_gpio_port = GPIOC, i2c_sda_gpio_pin = GPIO_Pin_9, rcc_i2c_sda_gpio_ahb_
  clk = RCC_AHB1Periph_GPIOC, i2c_sda_af = GPIO_AF_I2C3, i2c_sda_af_source = GPIO_PinSource9;
- rcc_ahb_i2c_gpio_periphClockCmd = RCC_AHB1PeriphClockCmd, i2c_port = I2C3, rcc_i2c_
  apb_periph = RCC_APB1Periph_I2C3, rcc_apb_i2c_periphClockCmd = RCC_APB1PeriphClockCmd.
```

В программе прибора все настройки для каждого I2C-порта объединяются в массив `mpu9x50_config []` структурированного типа `mpu9x50_port_t`, в котором индекс элемента соответствует порядковому номеру датчика вибрации.

Константа `ACCEL_QUANTITY = 9` определяет предельное количество датчиков вибрации (акселерометров), которые можно подключить к прибору.

В структуре `mpu9x50_port_t` последнее поле `i2c_addr` адреса датчика в шине I2C определяется, согласно документации на MPU9150 / MPU9250 и биту AD0, перечислением `iI2C_ADDR`.

Синхронно с действиями пользователя по выбору датчика вибрации программа прибора переключает I2C-порты функцией `mpu9x50_init ()` их переинициализации.

Функция `mpu9x50_init ()` зависит от единственного параметра `accelNum` – номера текущего, выбранного пользователем датчика вибрации, принимающего значение от 0 до (`ACCEL_QUANTITY - 1`), с круговым поведением, соответствующим каждому нажатию пользователем на кнопку «» в правой верхней экранной зоне. Значение (`accelNum + 1`) отображается справа от слова «Акселерометр».

Непосредственное чтение цифровых отсчетов и в целом работа с I2C-портом осуществляется с помощью функций `MPU9x50_I2C_ReadDeviceBuffer()`, `MPU9x50_I2C_ReadDeviceRegister ()` и `MPU9x50_I2C_WriteDeviceRegister ()`.

Приведенные функции реализуют I2C-протокол записи и чтения регистров текущего выбранного пользователем датчика вибрации. Поэтому в них имеются общие, характерные для I2C программные блоки, в частности, генерирования состояний старта, послыки первого байта с адресом датчика и контроля таймаута I2C-операции.

Функции `MPU9x50_I2C_ReadDeviceBuffer()`, `MPU9x50_I2C_ReadDeviceRegister()` и `MPU9x50_I2C_WriteDeviceRegister()` возвращают оценку успешности их выполнения – элемент перечисления типа `ErrorStatus`:

```
typedef enum {ERROR = 0, SUCCESS = !ERROR} ErrorStatus;
```

При неуспешном выполнении данных функций в течение 16 обращений подряд к ним принимается решение о потере контакта с датчиком с одновременным отображением на экране слова «контакт?» на ярко-красном фоне под словом «Акселерометр». В этом случае необходимо проверить контакт с датчиком вибрации или подключить его к соответствующему разъему, или перейти на страницу к следующему, уже подключенному датчику. Восстановление контакта детектируется по истечении четырех подряд обращений к вышеперечисленным функциям.

Исходя из заявленной в документации на акселерометры MPU9150/MPU9250 предельной частоты съема данных, равной 1 000 отсчетов/с, блок с функциями `MPU9x50_I2C_ReadDeviceBuffer()`, `MPU9x50_I2C_ReadDeviceRegister`, `MPU9x50_I2C_WriteDeviceRegister` выполняется каждую миллисекунду по прерыванию таймера TIM1 общего назначения.

Результирующие отсчеты от акселерометра, считываемые в процедуре `ACCEL_TIM_IRQHandler()` обработки прерывания таймера TIM1, попадают в две очереди, одна из них связана с графическим отображением сигнала, вторая – с записью на USB flash-диск.

Очереди, предназначенные для корректной транспортировки сигнальных отсчетов от блока приема сигнала к блокам его визуализации и записи на диск, объединяются в массив `g_FIFOxyzt[]`.



В структуре LIS3DSH\_OutXYZTypeDef отдельные поля, соответствующие  $x$ ,  $y$  и  $z$  проекциям ускорения, имеют идентичный двухбайтный знаковый тип short. Поле  $t$  отведено под температуру датчика.

Организация очередей – стандартная циклическая, когда каждая очередь из массива g\_FIFOxyz[] работает по принципу кольцевого буфера. Соответственно, для каждой из них вводятся индексы ее начала g\_iBegin и конца g\_iEnd:

При непосредственном получении сигнального отсчета функцией MPU9x50\_I2C\_ReadDeviceBuffer() он считывается в структуру accelXYZT типа LIS3DSH\_OutXYZTypeDef и впоследствии записывается в очереди g\_FIFOxyz[DEST\_GRAPH] и g\_FIFOxyz[DEST\_FLASH].

В процессе чтения очередей используется функция FIFO\_GetNextData(), получающая отсчет из указанной параметром queueNum очереди (queueNum может принимать значение DEST\_GRAPH или DEST\_FLASH), записывающая его по адресу pResultXYZT, и возвращающая успешность считывания при непустой очереди либо ERROR, если очередь пустая.

Программная реализация интерфейса пользователя для сохранения сигнала датчика вибрации на USB flash-диске обеспечивает детектирование подключения к прибору USB-диска, определение его объема, ввод имени файла для записи данных, управление кнопкой старта либо остановка процесса записи, разбиение длительного потока данных на последовательность файлов.



USB-драйвер прибора как host-машины работает по прерыванию «USB On The Go FS global interrupt». Соответствующая процедура обработки прерывания реализует USB-протокол нижнего, т. е. аппаратного уровня: непосредственное детектирование ядром микроконтроллера подключения устройства по USB, его опрос и идентификация. В случае идентифицированного MSC-устройства, к коему относится flash-диск, взаимодействие по USB переключается на функциональный уровень, оперирующий структурой USBH\_Usr\_cb\_TypeDef из указателей на соответствующие функции.

Наибольшую информативность в приведенной структуре имеет функция USBH\_USR\_MSC\_Application(), на которую ведется основной упор. В ней программа обращается к файловой FAT-системе flash-диска, считывает ее параметры и анализирует емкость и защищенность от записи – соответственно поля MSCCapacity, MSPageLength и MSWriteProtect структуры типа MassStorageParameter\_TypeDef.

Для разрешенного к записи диска его емкость отображается внутри кнопки запуска непосредственной записи – кнопки овальной формы в правом нижнем углу экрана, которая становится активной в момент идентификации flash-диска. Визуальная активация кнопки в зависимости от подключенного flash-диска на программном уровне осуществляется сменой на экране в строго определенной его области заранее сгенерированных массивов соответствующих изображений одинаковых размеров: gImage\_FlashDiskNone[4104], gImage\_FlashDisk4GB[4104], gImage\_FlashDisk8GB[4104], gImage\_FlashDisk16GB[4104], gImage\_FlashDisk32GB[4104], которые хранятся во flash-памяти программ базового микроконтроллера.

Запись на диск файла с числовыми массивами от датчика вибрации, как и ее остановка, инициируется нажатием на данную кнопку, которая в программе именована как usbFlashButtonPressed.

Процесс записи файла на USB flash-диск отчетливо заметен пользователю за счет сопровождающей ее анимации в виде смены палитры динамических образов, а именно, цвета textColor отображаемых графиков и палитры ColorMap (функцией FRAME\_SetColorMap(bBlink)) аналитического ансамбля на экране каждые 500 мс.

В целях недопущения перехода во время записи файла на flash-диск к иному датчику или визуальной странице кнопки «» возврата и «» выбора датчика отключаются и удаляются с экрана до момента завершения записи по инициативе пользователя.

Имя файла для хранения числовых массивов, получаемых от текущего датчика вибрации, имеет формат вида  $aN$ -xxxxx.wav, где первый символ  $a$  фиксированный и означает акселерометр (accelerometer) как датчик вибрации,  $N$  – номер текущего датчика вибрации, который в программе именован как accelNum,  $N = (\text{accelNum} + 1)$ , xxxxx – порядковый десятичный номер файла (отдельный  $x$  принимает значение от 0 до 9).

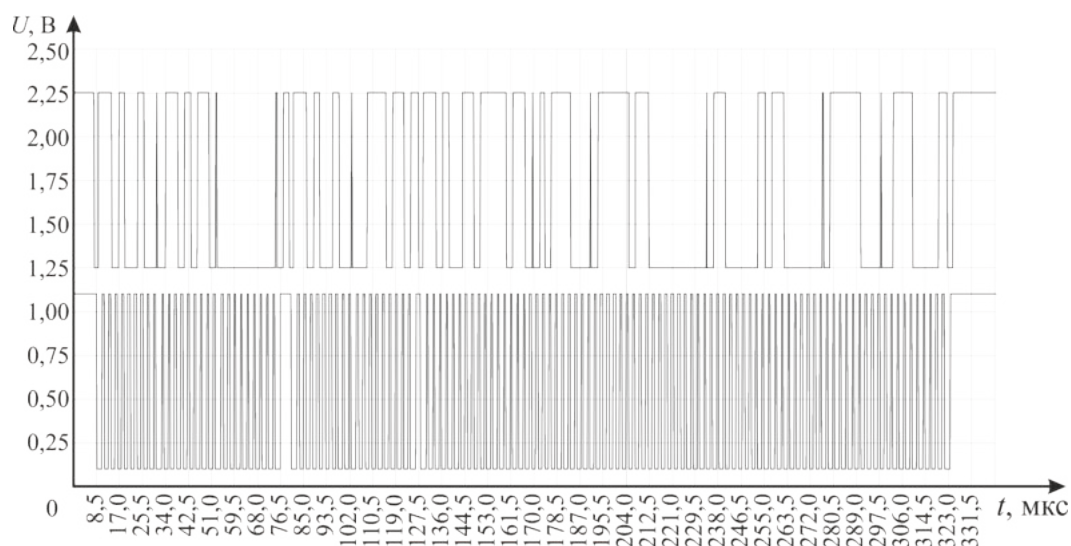


Рисунок 4 – Осциллограмма кадра считывания данных по I2C с акселерометра MPU9150 / MPU9250

Генерируемый таким образом файл wav-формата сохраняется в корневой папке flash-диска, а автоматически формируемое его имя в указанном виде *aN-xxxxx.wav* отображается пользователю прибора в нижней экранной строке по центру.

Порядковый десятичный номер считывается из бинарного файла counter.dat, расположенного в корневой папке flash-диска, и имеющего размер 4 байта. Содержимое файла counter.dat представляет бинарное 32-битное целое число беззнакового типа. В случае отсутствия counter.dat на диске он создается автоматически и в него записывается 4-байтное нулевое значение. За перечисленные действия с файлом counter.dat отвечает функция IncAndSet\_file\_counter().

При длительной записи файла он разбивается на последовательность wav-файлов примерным размером 1 МБ каждый. Размер отдельного файла определяется макроконстантой WAV\_DATA\_SIZE\_MAX.

При разбиении файла на последовательность имя текущего генерируемого файла в целях удобства для пользователя автоматически отображается на экране.

Взаимодействие базового микроконтроллера прибора с датчиком вибрации осуществляется по интерфейсу I2C со скоростью 400 кб/с. Согласно документации на датчик вибрации, в качестве которого выступает акселерометр MPU9150 или MPU9250, предельная частота считывания данных равна 1000 Гц, что соответствует периоду 1 мс.

На рисунке 4 представлена осциллограмма кадра считывания данных по I2C с акселерометра MPU9150 / MPU9250, где верхний график изображает сигнал линии SDA данных, а нижний – линии SCL тактирования.

Кадр считывания включает три транзакции, первая из которых состоит из трех байтов с направлением записи в датчик вибрации, вторая – из двух байтов также с записью в датчик, а третья – из 9 байт непосредственного чтения. Суммарные 14 байт, передаваемые на скорости 400 кб/с, соответствуют примерно  $(14 * 9 / 400\,000) = 315$  мкс, а с учетом межтранзакционных пауз – около 330 мкс. В связи с этим следует заметить, что за предельный для MPU9150/MPU9250 период опроса в 1000 мс прибор способен считывать данные сразу с трех акселерометров и сохранять их на USB flash-диске в wav-формате.

### Заключение

Основной вывод по разработке программного многоканального драйвера цифровых датчиков вибрации, входящих в состав многоканального прибора интегрированного виброакустического и теплового диагностирования, состоит в возможности считывания и записи данных одновременно с трех датчиков вибрации. Выполнение данной операции допускает временной период

применяемого датчика MPU9150/MPU9250 с предельной частотой обновления данных, равной 1 000 отсчетов/с.

Также следует отметить, что датчик вибрации можно подсоединять «на ходу» при работающем приборе, а сохраняемый на USB flash-диске файл данных имеет стандартный общеизвестный wav-формат, легко обрабатываемый любым современным программно-математическим пакетом.

#### **Список использованных источников**

1. Ролич, О. Ч. Многоканальная интегрированная система виброакустической и тепловой диагностики дизельных двигателей / О. Ч. Ролич, В. Е. Тарасенко // Агропанорама. – Минск, 2019. – № 5 (135). – С. 42–45.

2. Тарасенко, В. Е. Исследование вибрации форсунок с помощью многоканальной системы с гибкой структурой / В. Е. Тарасенко, А. А. Жешко // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межвед. темат. сб. / РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2020. – Вып. 54. – С. 185–191.

**В. Е. Тарасенко<sup>1</sup>, К. В. Щурин<sup>1</sup>, А. А. Жешко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»  
г. Минск, Республика Беларусь  
E-mail: azeshko@gmail.com

## **ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС МОБИЛЬНЫХ МАШИН С УЧЕТОМ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

*Аннотация.* Рассмотрены основные эксплуатационные показатели, важнейшим из которых выступает климатический фактор. Предложен механизм планирования периодичности операций технического сервиса с учетом вариабельности условий эксплуатации, что способствует обеспечению высокого уровня технической готовности парка машин. Рассмотрены активная, резервная и пассивная части потенциала работоспособности. Приведены зависимости, характеризующие процессы снижения потенциала работоспособности машин, отмечена их трансформация при изменении природно-климатических условий эксплуатации. Предложена методика технического сервиса мобильных машин с учетом вариабельности условий эксплуатации, которая предполагает анализ статистического массива данных по температуре окружающей среды за последние годы для формирования точного прогноза на ближайшую перспективу и выполнения последующих расчетов непосредственно на день эксплуатации машины.

*Ключевые слова:* машина, работоспособность, климат, сервис, фактор, уровень, жесткость.

**V. E. Tarasenko<sup>1</sup>, K. V. Shchurin<sup>1</sup>, A. A. Zheshko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>EI "Belarusian State Agrarian Technical University"  
Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>RUE "SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization"  
Minsk, Republic of Belarus  
E-mail: azeshko@gmail.com

## **TECHNICAL SERVICE OF MOBILE MACHINES, TAKING INTO ACCOUNT THE VARIABILITY OF OPERATING CONDITIONS**

*Abstract.* The main operational indicators are considered, the most important of which is the climatic factor. A mechanism for planning the frequency of maintenance operations is proposed, taking into account the variability of operating conditions, which contributes to ensuring a high level of technical readiness of the fleet. The active, reserve and passive parts of the performance potential are considered. The dependences characterizing the processes of reducing the potential of machine performance are given, their transformation is noted with changes in natural and climatic operating conditions. The technique of technical service of mobile machines is proposed, taking into account the variability of operating conditions, which involves the analysis of a statistical array of data on ambient temperature in recent years to form an accurate forecast for the near future and perform subsequent calculations directly on the day of operation of the machine.

*Keywords:* machine, performance, climate, service, factor, level, rigidity.

### **Введение**

Индивидуальность конкретной мобильной машины (ММ) усиливается в сфере эксплуатации. В число факторов, влияющих на надежность ММ, обязательно добавляются климатические и дорожно-почвенные условия, напряженность и культура эксплуатации.

Промышленность Республики Беларусь является экспортно-ориентированной, для поддержания и повышения конкурентоспособности отечественной машиностроительной продукции, в первую очередь ММ, поставляемых на экспорт, требуется обеспечение их показателей надеж-

ности на всех стадиях жизненного цикла с учетом высокой variability условий эксплуатации [1, 2].

Основными потребителями белорусской автотракторной, строительно-дорожной, коммунальной и сельскохозяйственной техники являются Российская Федерация, среднеазиатские республики, экваториальные страны африканского и американского континентов и др. В совокупности эти территории имеют наибольшую variability природно-климатических условий.

Поскольку климат Земли характеризуется большим разнообразием, вся ее территория по показателям климата для технических целей условно разделена на шесть макроклиматических районов, характеристика которых приведена в таблице 1 [1–3].

Таблица 1 – Классификация и характеристика климатических районов для технических целей

Климатический район	Характеристика
Умеренный	Территория, на которой средняя из ежегодных абсолютных максимумов температура воздуха равна или ниже 40 °С, средняя из ежегодных абсолютных минимумов температура воздуха равна или выше –45 °С
Холодный	Территория, на которой средняя из ежегодных абсолютных минимумов температура воздуха ниже –45 °С
Тропический влажный	Территория, на которой сочетание температуры воздуха 20 °С или выше и относительной влажности не менее 80 % наблюдается в сутки 12 ч и более за непрерывный период свыше двух месяцев в году
Тропический сухой	Территория, на которой средняя из ежегодных абсолютных максимумов температура воздуха выше 40 °С и которая не относится к макроклиматическому району с влажным тропическим климатом
Умеренно-холодный морской	Акватория морей и океанов, расположенная севернее 30° северной и южнее 30° южной широты
Тропический морской	Акватория морей и океанов, расположенная между 30° северной и 30° южной широты

Макроклиматические районы холодного климата дополнительно разделены на зоны арктического и субарктического, а между районами тропического и умеренного расположены зоны субтропического климата.

Основными повреждающими процессами при эксплуатации ММ являются: изнашивание, коррозия, усталость, эрозия и старение. В большинстве случаев повреждающие процессы действуют совместно.

Закономерности, характеризующие повреждающие процессы в материалах деталей ММ и приводящие к изменению их начальных свойств, являются основой для расчета и прогнозирования показателей надежности. Основное значение для количественной оценки потери машиной работоспособности имеет изучение законов накопления повреждений, которые раскрывают физико-химическую сущность необратимых изменений, происходящих в материалах ММ.

Это требует анализа и учета основных эксплуатационных факторов, среди которых для конкретных зон поставок одним из основных является климатический фактор, чтобы на этапе проектирования планировать периодичность операций технического сервиса для обеспечения высокого уровня технической готовности ММ.

### Основная часть

Оценка степени поврежденности материала в функции времени позволяет оценивать параметры и скорость развития повреждающего процесса, анализировать возможные его реализации и последствия, выявлять наиболее существенные факторы, влияющие на интенсивность процесса. На основе этих закономерностей назначается периодичность технических обслуживаний и ремонтов.

Состояние ММ, прежде всего, характеризуется ее работоспособностью. Показатель, характеризующий возможную работоспособность машины в любой момент ее эксплуатации, называется потенциалом работоспособности [3, 4, 5–12], и под этим понимают состояние ММ в фиксированный момент времени, характеризующее возможную ее работоспособность. Каждый эксплуа-



тационный цикл состоит из периода технического использования (время, наработка)  $t_i$  и периода восстановления работоспособности  $\tau_r$ . Общий потенциал работоспособности ММ можно представить в виде следующих трех составных частей: активной, резервной и пассивной [3].

*Активная часть потенциала*  $P_a$  изменяется в процессе эксплуатации машины, поддерживает-ся и восстанавливается в результате проведения технического обслуживания и текущего ремонта.

*Резервная часть потенциала*  $P_r$  необходима для предупреждения наступления предельного состояния машины при эксплуатации. Формируется совокупностью различных коэффициентов запаса.

*Пассивная часть потенциала*  $P_{\Pi}$  является незаменимой частью машины и изменяется только при замене базовых узлов и агрегатов.

Анализ случайного характера процесса изменения и восстановления потенциала работоспособности достаточно подробно изложен в работе [3].

Используя положения теории случайных процессов, можно рекомендовать выборочную функцию математического ожидания изменения работоспособности машин для текущего момента времени, представленную в формуле (1), [1, 6, 8]:

$$\tilde{m}_p(t) = P_{\max} e^{-\nu t}, \quad (1)$$

и функцию выборочной дисперсии, представленную формулой (2):

$$\tilde{D}_p(t) = t(\alpha_1 + \alpha_2 t), \quad (2)$$

где  $\nu$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  – показатель степени и коэффициенты, определяемые экспериментально.

Распределения доремонтного и межремонтного ресурсов обычно аппроксимируются нормальным законом. Случай, когда задано время непрерывной работы ММ  $T_0$ , в течение которого не производится ее техническое обслуживание, рассмотрен в работе [3, 7, 9, 10]. Это период, определяемый условиями эксплуатации. Процесс изменения одного из параметров, характеризующих работоспособность ММ (мощность, КПД, производительность и др.) с течением времени  $t$ , т. е. процесс изменения состояния ММ, представляет собой общую модель постепенной потери ММ работоспособности, которая происходит при ее эксплуатации. В основе рассматриваемой модели лежит классификация процессов повреждения по скорости их протекания.

На свойства конструкционных материалов и, следовательно, на показатели надежности ММ существенно влияют не все климатические факторы и атмосферные явления; влияние основных повреждающих факторов схематически показано на рисунке 1.

Эксплуатация ММ на открытом воздухе в экстремальных условиях обуславливает повышенную интенсивность неблагоприятного воздействия климатических факторов, в первую очередь, низких и высоких температур окружающей среды (ОС), суточных и годовых амплитуд и размахов температур, солнечной радиации, влажности воздуха, интенсивности осадков, скорости и направления ветра. Неблагоприятные воздействия оказывают такие атмосферные явления, как метели, иней, туманы, гололед, пыльные и песчаные бури и др. В результате дополнительно повреждающего воздействия названных факторов физико-механические и химические свойства конструкционных и эксплуатационных материалов, как правило, ухудшаются. Изменение свойств используемых материалов приводит к снижению их сопротивления воздействию основных повреждающих процессов – изнашивания, коррозии, усталости, старения и эрозии, и, как следствие, снижению показателей надежности ММ и эффективности их использования. Решение проблемы обеспечения оптимальной надежности технических и аргатических систем при их эксплуатации в различных климатических условиях требует обобщения накопленного опыта создания ММ, рассчитанных на работу в различных климатических условиях.

Наиболее существенно на технические устройства влияют низкие и высокие температуры ОС, солнечная радиация, влажность воздуха, скорость ветра, туманы, метели, пыльные бури. Изменения свойств материалов зависят также от интенсивности и продолжительности воздействия перечисленных факторов и их наиболее неблагоприятного сочетания. В качестве обобщающего показателя климатических воздействий избрана **техническая жесткость климата**.

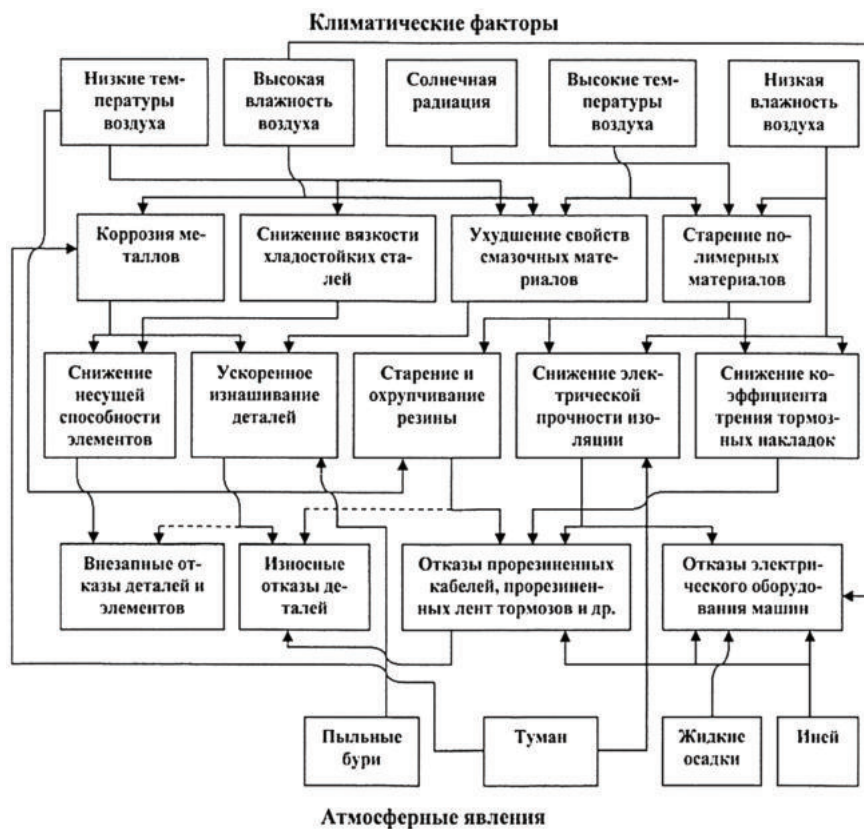


Рисунок 1 – Схема комплексного влияния климатических факторов и атмосферных явлений на свойства материалов и показатели надежности машин

Для повышения точности моделирующих зависимостей необходимо учитывать в них влияние как можно большего числа факторов. Однако такие формулы были бы весьма громоздки, поэтому необходимо отбирать наиболее значимые факторы, существенно влияющие на прогноз технической жесткости климата и погоды.

*Процессы изнашивания* определяют показатели безотказности и долговечности двигателей, трансмиссий, других узлов и агрегатов. Толщина слоя смазки, разделяющего трущиеся поверхности узлов трения, зависит от вязкости масла, скорости относительного перемещения трущихся поверхностей, удельных нагрузок на эти поверхности и других факторов. Так, для жидкостного гидродинамического трения в подшипнике скольжения толщина несущего масляного слоя определяется по формуле Гюмбеля – Фальца [8, 9]:

$$h_{\min} = \mu d^2 n / (18,36 q s c), \quad (3)$$

где  $\mu$  – вязкость масла;  $d$  – диаметр цапфы вала;  $n$  – частота вращения вала;  $q$  – удельная нагрузка на цапфу вала;  $s$  – начальный зазор между валом и подшипником;  $c$  – поправка на конечную длину подшипника.

Под влиянием высоких температур вязкость масла уменьшается на один-два порядка, соответственно уменьшается и толщина масляного слоя, обуславливая переход от жидкостного трения к граничному и сухому, что при наличии микронеровностей трущихся поверхностей вызывает их непосредственный контакт и резкое повышение интенсивности изнашивания. В условиях высоких контактных давлений в этой зоне может возникнуть молекулярное взаимодействие деталей трущейся пары, приводящее к схватыванию и заеданию поверхностей.

*Скорость коррозии* определяется в соответствии с уравнением (4) [1]

$$V_k = k_p C \exp \left[ -\frac{W}{RT} \right], \quad (4)$$

где  $\exp\left[-\frac{W}{RT}\right]$  – член уравнения, характеризующий долю частиц, обладающих необходимой энергией активации, т. е. долю активных частиц;  $k_p$  – константа скорости реакции;  $C$  – концентрация частиц;  $W$  – энергия активации, представляющая собой тот избыток энергии по сравнению со средней, обладание которым делает частицу реакционно-активной;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – абсолютная температура.

Из уравнения (4) следует, что скорость реакции возрастает с увеличением температуры.

В условиях воздействия коррозионной среды усиливается влияние асимметрии цикла на сопротивление усталости: при этом растягивающие средние напряжения цикла резко снижают значение предела выносливости, а наложение статических сжимающих напряжений способствует стабилизации значения предела выносливости детали практически в любой коррозионной среде.

При повышении температуры величина предела выносливости обычно уменьшается, а при ее понижении до значений, индивидуальных для каждого материала, величина предела выносливости возрастает [9–12].

*Тепловое старение* изоляции развивается за счет ускорения различных химических реакций при рабочих температурах изоляции, обычно лежащих в пределах от 60 °С до 130 °С. Химические реакции приводят к постепенному изменению структуры и свойств материалов и к ухудшению диэлектрических свойств изоляции в целом.

Для твердой изоляции наиболее характерным является постепенное снижение механической прочности в процессе теплового старения. Это приводит к повреждению изоляции под действием механических нагрузок и затем к ее пробою. В жидких диэлектриках продукты разложения загрязняют изоляцию и снижают ее электрическую прочность. Для органической изоляции повышение температуры на 10 °С снижает ее долговечность вдвое. Тепловое старение также является характерным повреждающим процессом изделий из пластмасс и резинотехнических изделий.

*Гидростарение изоляции* обуславливается проникновением во внутренние объемы изоляции влаги, главным образом, из окружающего воздуха. При этом происходит уменьшение сопротивления изоляции, рост диэлектрических потерь, связанный с дополнительным нагревом изоляции и ускоряющий тепловое старение изоляции. Неравномерное увлажнение, кроме того, приводит к искажению электрического поля и снижает напряжение пробоя изоляции.

Скорость проникания влаги в материал увеличивается при повышении температуры окружающего воздуха. Влага, поглощенная материалом или проникшая в него другими путями, резко снижает его объемное сопротивление. Зависимость удельной электропроводности диэлектриков от их влажности определяется уравнением (5):

$$\sigma_Z = \sigma_{Z0} e^{\chi(Z-Z_0)}, \quad (5)$$

где  $\sigma_{Z0}$  – удельная электропроводность при  $t = 0$  °С;  $Z$  – абсолютная влажность материала;  $\chi$  – коэффициент, зависящий от свойств материала.

Важным негативным фактором, повышающим скорость повреждающих процессов, является суперпозиция низких и высоких температур ОС, называемая континентальностью климата и определяемая по формуле (6):

$$\kappa = \frac{A_T}{\varphi} \cdot 100 \%, \quad (6)$$

где  $A_T$  – годовой размах температуры ОС;  $\varphi$  – географическая широта.

Воздействия климатических факторов вызывают определенные типичные отказы, ускоряют потоки отказов, возникающих в результате случайных перегрузок, снижают сопротивление усталости большинства материалов, ухудшают режимы трения, акцентируют отдельные структурные и детальные ошибки, допущенные при проектировании и изготовлении машин. Ухудшение эксплуатационных свойств материалов, вызванное воздействием климатических факторов, снижает наработку до наступления отказов и резко повышает интенсивность пусковых и нагрузочных отказов.

**Низкие температуры** ОС существенно влияют на свойства конструкционных и эксплуатационных материалов и на показатели надежности ММ в целом.

Главной причиной увеличения параметра потока отказов ММ в холодное время года являются хрупкие разрушения металлических деталей и элементов конструкций из металлов, полимерных материалов и, в отдельных случаях, из резин. Эти разрушения – следствие перехода материала деталей из вязкого в хрупкое состояние при определенных низких температурах (возникновение низкотемпературной хрупкости материалов).

С использованием результатов рангового анализа и частного влияния отдельных факторов формула для определения технической жесткости холодного климата в баллах имеет такой вид (7):

$$N_K = (0,75t_{\min \text{cp}} + 0,25t_{\min \text{abc}})(1 + 0,015\sigma_x)(1 + 0,07v_x)(1 + 0,26\varphi_x) \times \\ \times (1 + 0,014n_{\text{т.м}})(1 + 0,022\tau_x). \quad (7)$$

где  $t_{\min \text{cp}}$  – среднее значение минимальных температур ОС за три наиболее холодных месяца, °С;  $t_{\min \text{abc}}$  – среднее значение абсолютного минимума температуры ОС за три наиболее холодных месяца, °С;  $\sigma_x$  – средний непериодический размах суточных колебаний температуры ОС за три наиболее холодных месяца, °С;  $v_x$  – средняя скорость ветра за три наиболее холодных месяца, м/с;  $\varphi_x$  – среднее значение относительной влажности воздуха за три наиболее холодных месяца в долях единицы;  $n_{\text{т.м}}$  – среднее значение за месяц числа дней с туманом и метелью за три наиболее холодных месяца;  $\tau_x$  – продолжительность действия в месяцах средней температуры воздуха ниже нуля.

На основании рангового анализа и анализа влияния климатических факторов жаркого влажного климата на свойства материалов и надежность машин математическая модель для определения технической жесткости жаркого (сухого и влажного) климата в баллах примет следующий вид (8):

$$S_{\text{к.с}} = (0,55t_{\max \text{cp}} + 0,20t_{\max \text{abc}})(1 + 0,01Q_T)(1 + 0,0075\sigma_T)(1 - 0,03v_T) \left(1 + \frac{0,08}{\varphi_T}\right) \times \\ \times (1 + 0,009n_{\text{б.т}})(1 + 0,012\tau_T). \quad (8)$$

где  $t_{\max \text{cp}}$  – среднее значение максимальных температур воздуха за три наиболее теплых месяца, °С;  $t_{\max \text{abc}}$  – среднее значение абсолютного максимума температуры воздуха за три наиболее теплых месяца, °С;  $Q_T$  – среднее значение месячной суммы суммарной солнечной радиации за три наиболее теплых месяца, Вт/м<sup>2</sup>;  $\sigma_T$  – средний непериодический размах суточных колебаний температуры воздуха за три наиболее теплых месяца, °С;  $v_T$  – средняя скорость ветра за три наиболее теплых месяца, м/с;  $\varphi_T$  – среднее значение относительной влажности воздуха за три наиболее теплых месяца в долях единицы;  $n_{\text{б.т}}$  – среднее значение за месяц числа дней с пыльной бурей и туманом за три наиболее теплых месяца;  $\tau_T$  – продолжительность действия в месяцах средней температуры воздуха выше 0 °С.

Определение значимости каждого фактора с выделением существенных факторов и отсеиванием несущественных позволяет создать адекватные математические модели технической жесткости климата и погоды. Оценка степени согласованности экспертных оценок с помощью коэффициентов конкордации  $W$  и парной ранговой корреляции  $R$  по Спирмену показала хорошую согласованность этих оценок [1, 2, 6] ( $W = 0,735$ ,  $R = \frac{0,44}{0,88}$ ). Проверка этих коэффициентов по критерию  $\chi^2$  показала их значимость с вероятностью 0,99.

В таблице 2 приведены ранжированные данные [1, 2], в балльной шкале оценивающие техническую жесткость климата в общем диапазоне его изменения – от маложесткого до наиболее жесткого. Баллы технической жесткости отдельно приведены для холодного и жаркого климата. Это позволяет констатировать, что максимальное дополнительное повреждающее воздействие оказывает эксплуатация в условиях холодного климата.

Таблица 2 – Стратификация показателей жесткости климата

Климат	Баллы технической жесткости климата	
	холодного	жаркого
Маложесткий	0–30	0–15
Умеренно жесткий	31–60	16–25
Жесткий	61–90	26–35
Очень жесткий	91–120	36–45
Наиболее жесткий	121–170	46–60

В результате проведенного анализа следует констатировать необходимость корректировки периодичности технических обслуживаний, которые завод-изготовитель, как правило, определяет для климатической зоны собственной локации [5]. Эта оценочная зависимость определяется по исходной формуле (1) с применением корректирующего коэффициента. Для этого в уравнении (1) полагаем  $\tilde{m}_p(t) = P_{\min}$  – нижняя граница активной части потенциала работоспособности.

Далее, логарифмируя обе части полученного уравнения, получаем:

$$\ln P_{\min} = \ln P_{\max} - vt, \quad (9)$$

откуда

$$vt = \ln \frac{P_{\max}}{P_{\min}}. \quad (10)$$

Таким образом, средняя периодичность операций технических обслуживаний (ТО) с учетом реального климатического фактора  $T_{\text{РТО СР}} = t$  определяется как

$$T_{\text{РТО СР}} = \left( \ln \frac{P_{\max}}{P_{\min}} \right) v^{-1}. \quad (11)$$

Здесь коэффициент корректирования:

$$v = K_K K_{\text{СЖР}} / K_{\text{СЖИ}}, \quad (12)$$

где  $K_K$  – коэффициент учета фактора континентальности климата зоны эксплуатации;  $K_{\text{СЖР}}$  – среднее значение балла технической жесткости климата зоны реальной эксплуатации;  $K_{\text{СЖИ}}$  – среднее значение балла технической жесткости климата зоны изготовителя машины.

Таким образом, предложено решение, позволяющее осуществлять достаточно точный расчет по приведенной выше методике температуры ОС, при которой происходит эксплуатация ММ в конкретном регионе мира. Данное решение может быть оформлено в виде мобильного приложения, которое позволит выполнять расчет в автоматическом режиме. Указав планируемое место эксплуатации ММ и получив координаты на местности, можно получить достаточно точное значение температуры ОС из выбранной базы данных. При этом открывается возможность учитывать как среднестатистические значения температуры ОС за последние семь лет из базы данных выбранного сервера, так и текущие значения температуры. В качестве примера предлагается использовать данные с сервера погоды «Premium weather API for Developers», базы которого содержат необходимые актуальные статистические сведения. Анализ статистического массива данных по температуре ОС за последние годы позволяет сформировать достаточно точный прогноз на ближайшую перспективу и выполнить последующие расчеты непосредственно на день эксплуатации ММ.

Место эксплуатации ММ указывается на электронной карте из картографического сервиса. Изначально предлагается осуществлять поиск объекта (населенного пункта), вблизи которого планируется эксплуатация ММ, и определение координат места эксплуатации ММ методом прямого геокодирования. Далее осуществляется уточнение координат места эксплуатации ММ, т. е. выполняется обратное геокодирование.

После выбора места и времени эксплуатации ММ осуществляется загрузка соответствующих данных с выбранного сервера погоды.



Поскольку точный прогноз можно получить не более чем на 10 дней, предлагается выбрать значение температуры исходя из статистических данных за последние годы

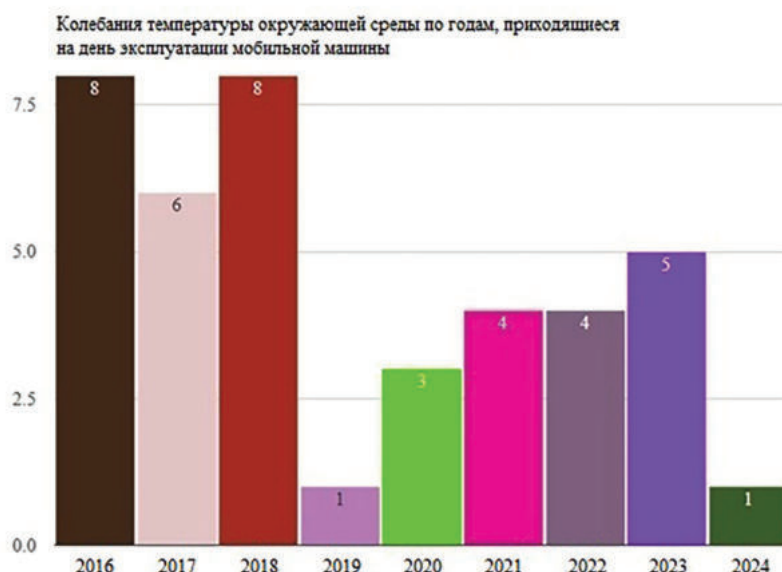


Рисунок 2 – Диаграмма вывода статистических данных колебания температуры окружающей среды в день эксплуатации ММ

В случае дальнейшей разработки и использования мобильного приложения можно определять разность текущей даты и даты предполагаемой эксплуатации ММ, для чего будет загружаться прогноз погоды, предоставляемый веб-сервисом, на дату эксплуатации ММ. Временной интервал данных о погоде в течение суток может задаваться в диапазоне 1–24 ч, по умолчанию можно установить на величину 3 ч.

Также вполне разрешимой является ситуация, когда разность текущей даты и даты планируемой эксплуатации ММ будет больше либо равно 10 дням. В такой ситуации планируется наделить мобильное приложение функцией отправки запроса на веб-сервис погоды о предоставлении статистических данных о метеонаблюдениях за указанным местом эксплуатации ММ (за последние 9 лет). В запросе можно также задавать временной интервал из ряда 1, 3, 6, 12 и 24 ч. Причем интервалу 24 ч соответствует среднесуточная температура на день эксплуатации ММ. Временной интервал 24 ч предполагается использовать по умолчанию. Данные о колебании температуры ОС в день эксплуатации ММ будут отображаться в виде диаграммы (рисунок 2).

Описанное решение позволяет более рационально осуществлять контроль за техническим состоянием ММ, своевременно определять перечень необходимых операций технического сервиса в зависимости от фактического состояния ММ и конкретного региона эксплуатации.

### Заключение

Корректирование периодичности операций технического сервиса мобильных машин с учетом климатического фактора зоны их реальной эксплуатации следует осуществлять в определенной последовательности.

1. С использованием данных таблицы 2 и с сервера метеорологических наблюдений определить граничные и среднее значения балла технической жесткости климата зоны эксплуатации машины.

2. С использованием формулы (6) и справочных данных определяется коэффициент континентальности климата зоны эксплуатации.

3. Определяются граничные и среднее значения балла технической жесткости климата зон производителей машины и ее основных агрегатов.

4. С использованием формул (11) и (12), а также данных изготовителя ММ осуществляется корректирование периодичности операций технического сервиса для зоны реальной эксплуатации ММ.

Использование предложенной методики позволит обеспечить показатели надежности ММ при их эксплуатации в экстремальных климатических зонах на уровне, назначенном заводом-изготовителем для умеренно жестких климатических зон.

#### **Список использованных источников**

1. Щурин, К. В. Надежность мобильных машин : учебник / К. В. Щурин, В. Е. Тарасенко. – СПб. : Лань, 2024. – 400 с.
2. Щурин, К. В. Корректирование периодичности операций технического сервиса мобильных машин с учетом жесткости климата / К. В. Щурин, В. Е. Тарасенко // Механика машин, механизмов и материалов. – 2023. – № 2 (63). – С. 14–23.
3. Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей : ГОСТ 16350-80. – Взамен ГОСТ 16350-70 ; введ. 17.12.1980.
4. Моделирование процессов восстановления машин / В. П. Апсин, Л. В. Дехтеринский, С. Б. Норкин, В. М. Приходько. – М. : Транспорт, 1996. – 311с.
5. Технический сервис машин и основы проектирования предприятий : учебник / М. И. Юдин, М. Н. Кузнецов, А. Т. Кузовлев [и др.]. – Краснодар : Совет. Кубань, 2007. – 968 с.
6. Щурин, К. В. Планирование и организация эксперимента : учеб. пособие / К. В. Щурин, Е. К. Волкова. – СПб. : Лань, 2022. – 326 с.
7. Проников, А. С. Параметрическая надежность машин / А. С. Проников. – М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 560 с.
8. Основы трибологии (трение, износ, смазка) : учебник / Э. Д. Браун, Н. А. Буше, И. А. Буяновский [и др.] ; под ред. А. В. Чичинадзе. – М. : Наука и техника, 1995. – 778 с.
9. Пачурин, Г. В. Влияние температуры на механические свойства листовых конструкционных сталей // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 1. – С. 18–23. – URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=33495> (дата обращения: 21.02.2023).
10. Альгин, В. Б. Технологические и эксплуатационные методы обеспечения качества машин / В. Б. Альгин, А. С. Васильев, В. Ю. Блюменштейн. – Минск : Беларус. навука, 2023. – 111 с.
11. Тарасенко, В. Е. Надежность технических систем [Текст] : практикум для студентов УВО специальности 1-74 06 03 Ремонтно-обслуживающее производство в сельском хозяйстве / В. Е. Тарасенко, В. П. Миклуш, А. А. Жешко : БГАТУ. – Минск, 2015. – 200 с.
12. Щурин, К. В. Планирование системы технического обслуживания мобильных машин с учетом технической жесткости климата / К. В. Щурин, Д. Б. Шаромето // Современные проблемы и пути развития технического сервиса в АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 24–25 нояб. 2022 г. – Минск : БГАТУ, 2022. – С. 126–136.

**М. В. Кунаш, Г. И. Белохвостов**

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»  
г. Минск, Республика Беларусь*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПЫТНОГО ГЛУШИТЕЛЯ**

*Аннотация.* В статье рассмотрено влияние шума на операторов тракторов, определены варианты конструкции экспериментального глушителя 800-12005100 с максимальной эффективностью шумоглушения в составе трактора «Беларус-1523». Получены положительные результаты по противодействию в сравнении с серийным глушителем. Соппротивление выхлопным газам экспериментальных глушителей 800-1205100 находилось в пределах 6,4–9 кПа и соответствует требованиям ТУ РБ 101326441.142-2004 на двигатели Д-260.2S2, что в свою очередь ниже серийного.

*Ключевые слова:* экспериментальный глушитель, уровень звука на срезе, сопротивление выхлопным газам, поршневой двигатель внутреннего сгорания (ПДВС), экспериментальный образец.

**M. V. Kunash, G. I. Belokhvostov**

*El “Belarusian State Agrarian Technical University”  
Minsk, Republic of Belarus*

## **EXPERIMENTAL STUDIES OF AN EXPERIMENTAL SILENCER**

*Abstract.* The influence of noise on tractor operators is considered. Design variants of experimental silencer 800-12005100 with maximum efficiency of noise reduction as a part of tractor “BELARUS-1523” are determined. Positive results on back pressure in comparison with the serial silencer have been obtained. The resistance to exhaust gases of the experimental silencers 800-1205100 was within the limits of 6,4–9 kPa and corresponds to the requirements of TU RB 101326441.142-2004 for D-260.2S2 engines, which in its turn is lower than the serial one.

*Keywords:* experimental muffler, sound level at the cutoff, exhaust gas resistance, reciprocating internal combustion engine (PICE), experimental sample.

### **Введение**

Целью дополнительного анализа теоретических основ и закономерностей возникновения шума поршневых двигателей внутреннего сгорания (ПДВС), рассмотренных в трудах известных ученых, таких как Н. Н. Андреев, А. И. Белов, Л. И. Инзель, Б. П. Константинов, Б. К. Шапиро, И. И. Ключкин, В. Н. Луканин, М. Г. Шатров, В. Я. Груданов, А. П. Меркулов, Д. А. Чудаков, Н. Г. Шабуня, М. А. Разумовский, Н. И. Иванов, А. И. Комкин и др., являлось уточнение отдельных позиций в правильном понимании рабочих процессов ПДВС, процессов массо- и теплообмена, в частности газообмена, механических процессов, превращения части тепловой энергии в звуковую, формирования акустического излучения, аэроакустических, диссипативных и вихревых процессов [1].

Машины и механизмы прочно вошли в жизненный уклад каждого, а создаваемый ими шум сопровождает человека не только в рабочее время, но и в моменты отдыха и сна. И хотя в настоящее время имеется множество достижений в разработке способов и средств для его снижения, каждый второй житель Земли находится под воздействием повышенного уровня шума.

Выражение известного ученого микробиолога Л. Пастера «Шум – чума XX века» можно с уверенностью отнести и к нынешнему столетию.

Снижение уровня шума трактора является важным средством улучшения имиджа товарного знака машины и не менее важной задачей для защиты физического и психологического здоровья работников [2].

На сегодняшний день наиболее развитые страны расходуют на борьбу с шумом транспортных средств около 1 % госбюджета. Вместе с тем, учитывая тенденцию к повышению энергонасыщенности разрабатываемых машин, с одной стороны, и необходимость снижения их шума, с другой – следует ожидать, что проблема создания малошумных машин будет становиться всё более острой [3].

Цель данной работы – определение вариантов конструкции с максимальной эффективностью шумоглушения в составе трактора «Беларус-1523» [4].

### Основная часть

Анализ аэродинамических источников шумообразования акустического излучения ПДВС показал, что отношения между ними различны по интенсивности и зависят от типа двигателя, его конструктивных особенностей, а также от скоростного и нагрузочного режима работы [1, 5].

Особый интерес представляет прогнозирование характеристик газодинамического шума для выпускных систем без заглушающих устройств, так как полученные при этом данные являются исходными для определения заглушающих характеристик систем выпуска при их разработке. Установлено влияние системы заглушения на экономические, мощностные и экологические показатели транспортного средства, где часто одна проблема решается за счет другой [1, 6].

Необходимо подвергнуть более тщательному анализу зависимость интенсивности шума от элементарного объема турбулентной струи, выраженную формулой:

$$dI = \frac{k_0 \rho_c^2 u_c^8}{\rho_0 c_0^5 r^2 \Phi^5(\theta, M_k)} \left( \frac{\sqrt{u'^2}}{u_c} \right)^4 \left( \frac{u_k}{u_c} \right)^4 \frac{dv}{x},$$

где  $r = |\vec{x}|$  – радиус, на котором производится данное исследование;  $c_0$  – скорость звука в среде.

Из этой формулы на основании постоянной Лайтхилла определяется суммарная акустическая мощность элементарного объема:

$$dW = k_2 \Psi(M_k) \frac{\Pi}{D^2} \left( \frac{\sqrt{u'^2}}{u_c} \right)^4 \left( \frac{u_k}{u_c} \right)^4 \frac{dv}{x},$$

где

$$\Pi = \frac{\rho_c^2 u_c^8 D^2}{\rho_0 c_0^5},$$

$$\Psi(M_k) = \frac{1 + M_k^2}{(1 - M_k^2)^4},$$

где  $u_k$  – скорость конвекции;  $M_k = \frac{u_k}{c_0}$ ;  $D$  – характерный геометрический размер;  $\frac{\sqrt{u'^2}}{u_c}$  – интенсивность турбулентности;  $u'$  – пульсационная скорость.

Функция  $\Psi(M_k)$  характеризует эффект усиления акустического излучения вследствие конвекции источников шума [1].

Максимум акустической мощности генерируется в зоне наибольшей активности турбулентности, где градиент средней скорости максимален [1, 7].

Большая часть акустической энергии излучается на участке от седла клапана до сечения, удаленного на расстояние 10 диаметров горловины клапана. Примерно 65 % суммарной акустической энергии струи излучается на начальном участке, где произвольный объем, одна из геометрических составляющих которого равна диаметру тарелки клапана, излучает 0,10...0,15 от акустической мощности струи [1, 7, 8, 9].

Суммарная акустическая мощность вихревого шума определяется как

$$W = (K_0\Phi^2 + K_1\Phi^6 + K_2\Phi^8)F_{\text{кл}}\rho_B c_B^3(1-\chi),$$

где

$$\chi = \frac{P_B - P_{\text{пр}}}{P_B};$$

$$c = \sqrt{nRT_B};$$

$$n = \frac{c_p}{c_r};$$

$$\Phi = \left\{ \frac{2}{n-1} \left[ 1 - (1-\chi)^{\frac{n-1}{n}} \right] \right\}^{0,5}.$$

Более тщательное изучение необходимо и для определения уровней звуковой мощности шума выхлопной струи турбореактивного двигателя с необходимыми уточнениями применительно к ПДВС [1].

Общий уровень звуковой мощности  $L_{p,\text{общ}}$  в дБ выхлопной струи турбореактивного двигателя определяется по формуле:

$$L_{p,\text{общ}} = 80 \lg V_c + 20 \lg \rho_c + 10 \lg F_c - 44,$$

где  $V_c$  – скорость истечения газа из сопла, м/с;  $\rho_c$  – плотность струи в выходном сечении сопла, кг/м<sup>3</sup>;  $F_c$  – площадь сопла, м<sup>2</sup>.

Системы впуска и выпуска отработавших газов являются источниками шума аэродинамического происхождения. Для их шумоглушения используются специальные устройства, конструкция которых не затрагивает базовых элементов самого двигателя. Основная задача конструирования этих систем заключается в обеспечении заданных параметров заглушения при минимальных габаритах, массе и стоимости системы. При разработке системы выпуска ее акустическая эффективность задается такой, чтобы уровень излучаемой ею звуковой мощности был на 8–10 дБА ниже уровня звуковой мощности акустического излучения, вызываемого колебаниями наружных поверхностей двигателя [1].

Включение в конструкцию системы выпуска нейтрализаторов способствует улучшению заглушающих свойств системы, так как принципы функционирования нейтрализаторов способствуют снижению шума выпуска.

Определенные успехи в расчетных методах исследования глушителей шума ПДВС как отечественных, так и зарубежных научных школ создают хорошие предпосылки для решения прямой задачи – определения акустических характеристик глушителей шума ПДВС заданной конфигурации и размера, и обратной – определения конфигурации и размеров глушителя с требуемыми характеристиками [1].

Нами проведены исследования на тракторе «Беларус-1523.3» (зав. № Y4R152305P1101184), укомплектованном экспериментальным ГШ 800-1205100 (изготовлен по КД БГАТУ) (рисунки 1, 2, 3). В экспериментальном глушителе применили перфорированную вставку в виде трубы Вентури [2]. Трактор при испытаниях был в полной комплектации с облицовочными панелями двигателя. На рисунке 4 представлены схемы установки.

Данные исследования проводились на основе международных стандартов по уровню шума (ISO 7216 и ISO 5131) с учетом типа выхлопной системы, положения микрофона, частоты вращения двигателя (об/мин) и положения передачи.

Для оценки шумового загрязнения использовалось оборудование, указанное в таблице 1.





Рисунок 1 – Трактор «Беларус-1523.3» с экспериментальным глушителем



Рисунок 2 – Экспериментальный глушитель 800-1205100 в разборе

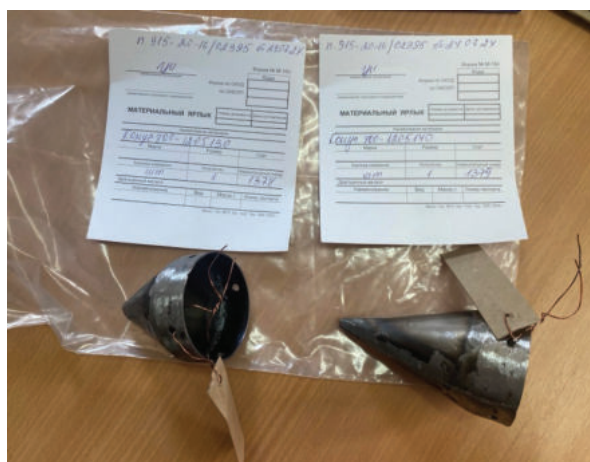


Рисунок 3 – Сменные конусы для глушителя

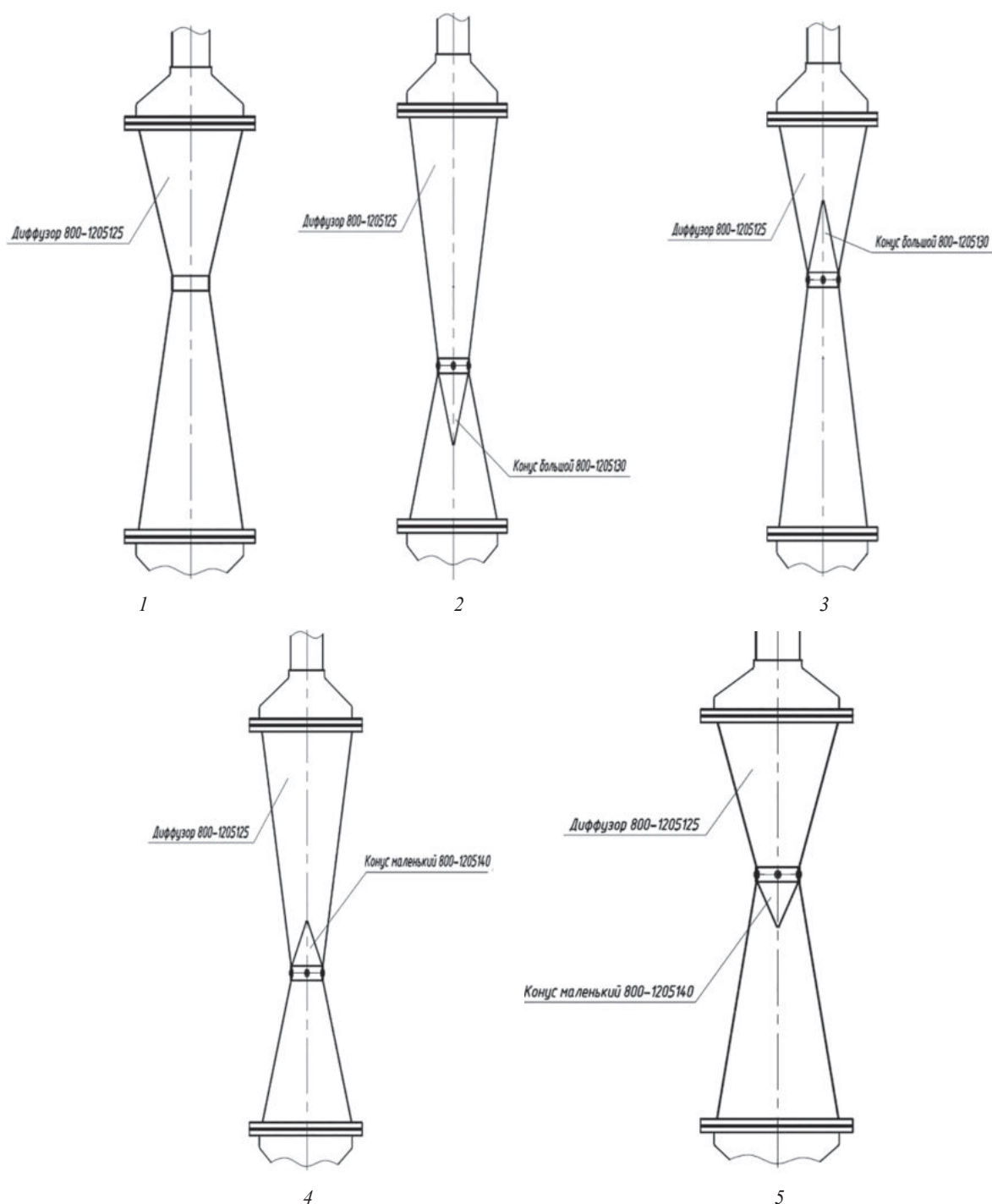


Рисунок 4 – Схемы установки 1, 2, 3, 4, 5

Результаты измерения уровня звука и уровней звукового давления процесса выпуска двигателя у выпускной трубы глушителя (микрофон располагался на расстоянии 0,25 м от края отверстия выпускной трубы глушителя и под углом  $60^\circ$  к оси потока выхлопных газов) приведены в таблице 2.

В первый день исследований была зафиксирована скорость ветра 3 м/с, атмосферное давление 98,8 кПа, температура воздуха  $25^\circ\text{C}$ , относительная влажность воздуха 82 %. Во второй день исследований – скорость ветра 2 м/с, атмосферное давление 98,8 кПа, температура воздуха  $19^\circ\text{C}$ , относительная влажность воздуха 88 %. Все показатели на момент испытаний полностью соответствовали условиям, заявленным в стандартных регламентах.

Результаты измерения уровня звука и уровней звукового давления процесса выпуска двигателя при установке микрофона у выпускной трубы глушителя на расстоянии 0,25 м от края отверстия выпускной трубы глушителя и под углом 60° к оси потока выхлопных газов приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Испытательное оборудование

Тип средств измерения (испытательного оборудования), зав./инв. №, диапазон и единицы измерения	Точность измерения	Номер свидетельства
Дорога Д002	—	83/1-02
Комбинированный testo 435-4 № 62372751/009 (кан. изм. давления)	0,1 кПа	BY 01 № 0007356-4923
Дат. 06369735 № 20786617/009 (кан. изм. относительной влажности)	± 3,1 % вл.	BY 01 № 0009115-5024
Дат. 06351025 № 10390083/002 (кан. изм. температуры)	± 1°С	BY 01 № 0012944-5524
Зонд 06351025 № (кан. изм. скорости воздушного потока)	(0,3 + 0,02V)	BY 01 № 0007538-4924
Анализатор звука 2260 №2554015 в ком. с капсулом изм. мик. 4189 № 2566160	± 0,7 дБ	BY 01 № 0008064-3423
Калибратор звука CAL200 № 5998	± 0,2 дБ	BY 01 № 0005441-3423-B
Рулетка РИ-10-3-Д № 54123, (0...10000) мм	± 1 мм	BY 01 № 0024546-4123
Манометр МП-160 зав. № 382241 (0-1) МПа.	Класс 1,5	BY 01 № 0002030-4923
Пьезометр	—	—
Устройство для определения КТС	—	№ 1
Отвес	—	—

Таблица 2 – Результаты измерения на срезе глушителя

Наименование глушителя	Уровень звука дБА		Уровень звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									
			31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Серийный глушитель	Холостые обороты двигателя	86,8	—	64	63	67	71	74	76	71	63	—
	Макс. обороты без нагрузки	103,4	—	66	87	86	84	87	87	91	87	68
	Номинальная мощность двигателя	110,5	—	—	64	87	93	96	97	100	93	77
Эксперимен- тальный глу- шитель, 1 схема	Холостые обороты двигателя	91,3	51	64	62	71	73	78	82	74	67	52
	Макс. обороты без нагрузки	110,0	—	95	85	88	90	95	96	96	92	78
	Номинальная мощность двигателя	117,7	—	65	84	93	98	101	102	107	101	85
Эксперимен- тальный глу- шитель, 2 схема	Холостые обороты двигателя	92,4	—	65	64	74	75	78	82	76	67	52
	Макс. обороты ДВС	109,7	—	66	88	90	91	95	96	97	92	76
	Номинальная мощность двигателя	117	—	65	85	94	98	99	100	106	97	82
Эксперимен- тальный глу- шитель, 3 схема	Холостые обороты двигателя	91,1	—	66	60	70	72	79	82	77	66	—
	Макс. обороты ДВС	108,7	—	67	87	88	90	95	95	97	90	71
	Номинальная мощность двигателя	116,1	—	67	87	94	98	100	100	104	94	76
Эксперимен- тальный глу- шитель, 4 схема	Холостые обороты двигателя	90,6	—	64	62	70	72	77	81	74	65	—
	Макс. обороты ДВС	108,1	—	63	86	88	90	94	93	95	90	71
	Номинальная мощность двигателя	115,5	—	64	84	93	97	100	98	105	97	78
Эксперимен- тальный глу- шитель, 5 схема	Холостые обороты двигателя	91,6	51	64	63	73	74	79	82	75	68	53
	Макс. обороты ДВС	109,8	—	61	82	87	90	95	95	96	93	76
	Номинальная мощность двигателя	116,7	—	65	85	90	91	93	91	96	90	73

На рисунках 5–7 представлены графики сравнения уровней звукового давления на срезе глушителя.

После проведения замеров уровней звука и уровней звукового давления были отобраны наилучшие варианты для проведения замеров шумовых характеристик трактора в соответствии с требованиями ТРТС 031/2012.

Результаты измерения уровня звука внешнего шума трактора произведены в соответствии с ТРТС 031/2012.

Результаты измерений уровня внешнего шума движущегося трактора с серийным глушителем представлены в таблице 3.

Результаты измерений уровня внешнего шума неподвижного трактора, дБА: левая сторона – 83,6; правая сторона – 83,1. Результаты измерений уровня внешнего шума движущегося трактора с экспериментальным глушителем, схема 1 представлены в таблице 4.

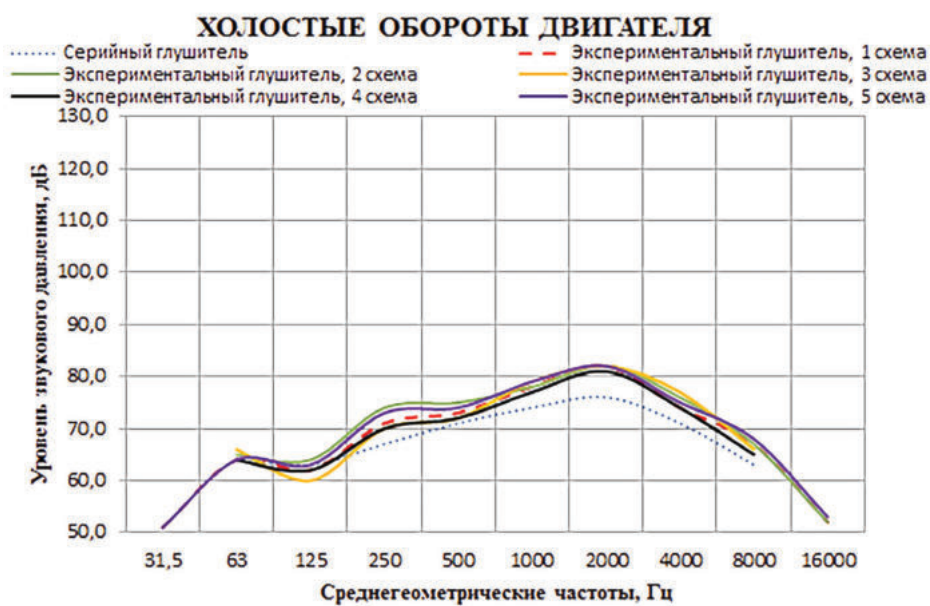


Рисунок 5 – Уровень звукового давления на срезе глушителей на режиме холостых оборотов двигателя

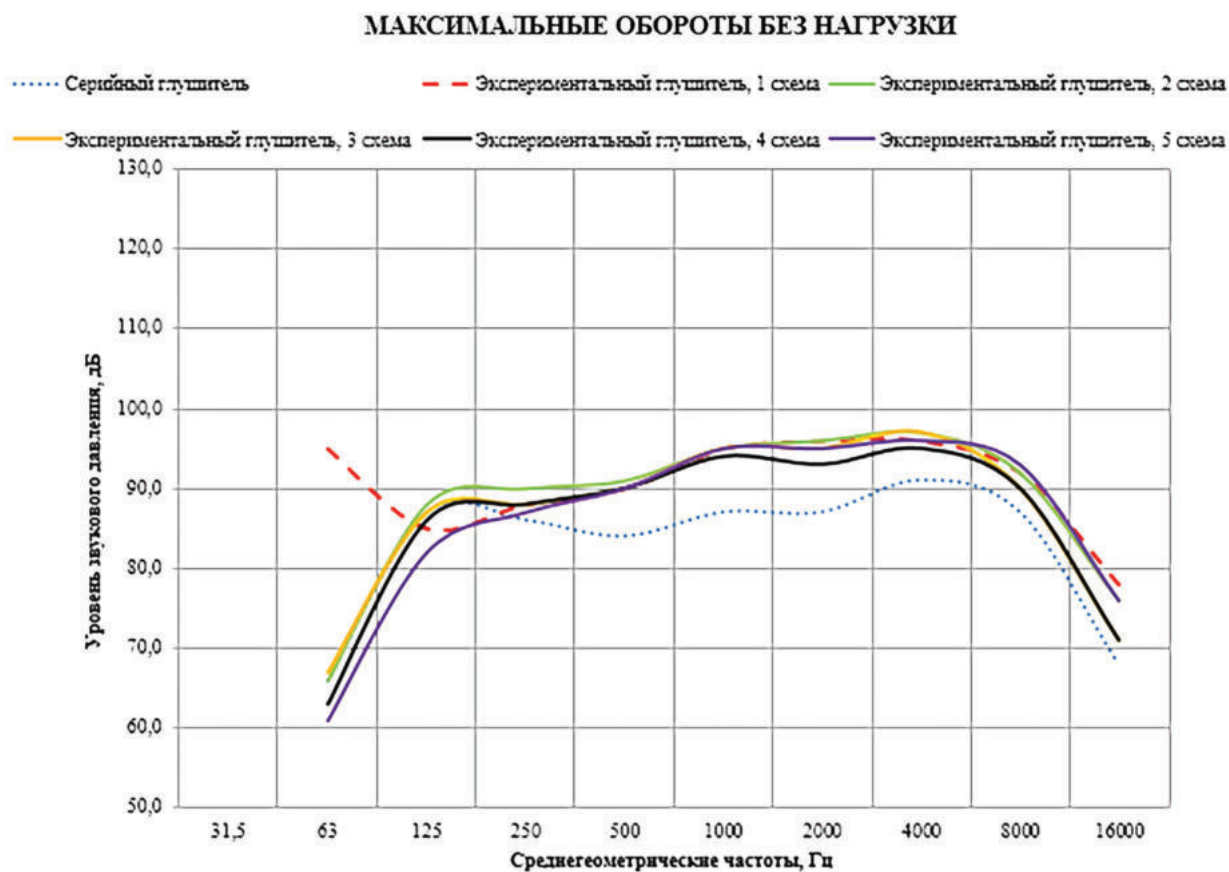


Рисунок 6 – Уровень звукового давления на срезе глушителей на режиме максимальных оборотов двигателя

### Номинальная мощность

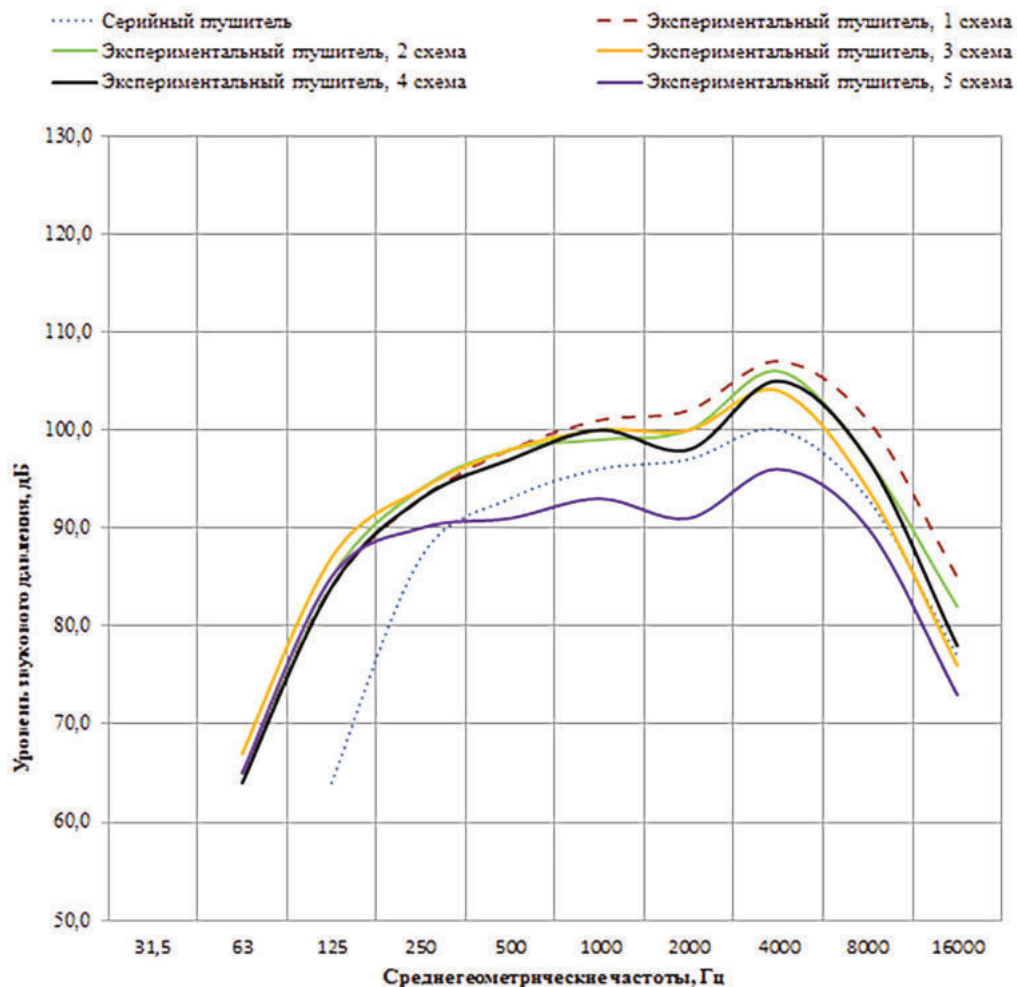


Рисунок 7 – Уровень звукового давления на срезе глушителей на номинальной частоте

Таблица 3 – Результаты измерений уровня внешнего шума движущегося трактора с серийным глушителем

Повторность измерений	Уровень звука внешнего шума, дБА		
	Левая сторона	Правая сторона	Нормированное значение по ГОСТ 33678-2015
1	85,7	86,7	Не более 89,0
2	86,0	86,7	
3	86,3	86,8	
Оценочное значение	86,3	86,8	

Таблица 4 – Результаты измерений уровня внешнего шума движущегося трактора с экспериментальным глушителем, схема 1

Повторность измерений	Уровень звука внешнего шума, дБА		
	Левая сторона	Правая сторона	Нормированное значение по ГОСТ 33678-2015
1	87,5	88,7	Не более 89,0
2	87,8	88,8	
3	87,7	89,0	
Оценочное значение	87,8	89,0	

Результаты измерений уровня внешнего шума неподвижного трактора, дБА: левая сторона – 83,0; правая сторона – 83,5. Результаты измерений уровня внешнего шума движущегося трактора с экспериментальным глушителем, схема 2 представлены в таблице 5.



**Таблица 5 – Результаты измерений уровня внешнего шума движущегося трактора с экспериментальным глушителем, схема 2**

Повторность измерений	Уровень звука внешнего шума, дБА		
	Левая сторона	Правая сторона	Нормированное значение по ГОСТ 33678-2015
1	87,9	89,1	Не более 89,0
2	87,8	88,9	
3	87,7	88,9	
Оценочное значение	87,9	89,1	

Результаты измерений уровня внешнего шума неподвижного трактора, дБА: левая сторона – 83,6; правая сторона – 84,3. Результаты измерений уровня внешнего шума движущегося трактора с экспериментальным глушителем, схема 4 представлены в таблице 6.

**Таблица 6 – Результаты измерений уровня внешнего шума движущегося трактора с экспериментальным глушителем, схема 4**

Повторность измерений	Уровень звука внешнего шума, дБА		
	Левая сторона	Правая сторона	Нормированное значение по ГОСТ 33678-2015
1	88,0	88,5	Не более 89,0
2	87,9	88,5	
3	87,9	88,5	
Оценочное значение	88,0	88,5	

Результаты измерений уровня внешнего шума неподвижного трактора, дБА: левая сторона – 84,0; правая сторона – 84,0. Уровень звука, дБА: до испытаний – 49,9; после испытаний – 52.

Далее были проведены измерения уровня звука на рабочем месте оператора в соответствии с ТРТС 031/2012. Результаты измерений с серийным глушителем – в таблице 7.

**Таблица 7 – Результаты измерений с серийным глушителем**

Передача	Нагрузка на крюке, кН	Скорость движения, км/ч	Уровень шума, дБ (А)		Нормируемое значение, дБ (А)
			Окна и люк открыты	Окна и люк закрыты	
2 д. 2 пер.	Без нагрузки	7,5	85,8	80,6	86,0
			85,7	80,3	
			85,8	80,4	
			ср. знач. 85,8	ср. знач. 80,4	

Результаты измерений с экспериментальным глушителем, схема 1 – представлены в таблице 8.

**Таблица 8 – Результаты измерений с экспериментальным глушителем, схема 1**

Передача	Нагрузка на крюке, кН	Скорость движения, км/ч	Уровень шума, дБ (А)		Нормируемое значение, дБ (А)
			Окна и люк открыты	Окна и люк закрыты	
2 д. 2 пер.	Без нагрузки	7,5	85,4	80,6	86,0
			85,4	80,6	
			85,4	80,6	
			ср. знач. 85,4	ср. знач. 80,6	

Результаты измерений с экспериментальным глушителем, схема 2 – в таблице 9.

**Таблица 9 – Результаты измерений с экспериментальным глушителем, схема 2**

Передача	Нагрузка на крюке, кН	Скорость движения, км/ч	Уровень шума, дБ (А)		Нормируемое значение, дБ (А)
			Окна и люк открыты	Окна и люк закрыты	
2 д. 2 пер.	Без нагрузки	7,5	85,3	81,7	86,0
			85,3	81,7	
			85,3	81,7	
			ср. знач. 85,3	ср. знач. 81,7	

Результаты измерений противодействия глушителя представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты измерений противодействия глушителя

Наименование глушителя	Противодавление, кПа		
	Холостые обороты ДВС	Макс. обороты ДВС, без нагрузки	Номинальная мощность ДВС
Глушитель серийный	0,5	4,4	14,1
Экспериментальный глушитель, схема 1	0,3	1,9	6,4
Экспериментальный глушитель, схема 2	0,3	2,5	9,0
Экспериментальный глушитель, схема 3	0,3	1,4	9,0
Экспериментальный глушитель, схема 4	0,3	2,4	8,7
Экспериментальный глушитель, схема 5	0,4	2,7	8,8

Уровень звука помех, дБА: до испытаний – 49,9; после испытаний – 52,4.

По итогам проведенных испытаний:

- уровень звука на срезе у экспериментальных глушителей 800-1205100, на режиме номинальной мощности двигателя выше на 5–7,2 дБА, чем у серийного глушителя 110,5 дБА;
- сопротивление выхлопным газам на режиме номинальной мощности серийного глушителя составило 14,1 кПа, что не соответствует требованиям ТУ РБ 101326441.142-2004 на двигатели Д-260.2S2;
- сопротивление выхлопным газам экспериментальных глушителей 800-1205100 находилось в пределах 6,4–9 кПа и соответствует требованиям ТУ РБ 101326441.142-2004 на двигатели Д-260.2S2, что в свою очередь ниже серийного;
- уровень внешнего шума движущегося трактора с серийным глушителем и экспериментальным глушителем 800-1205100 (схема 4) соответствует ТРТС031/2012. У остальных экспериментальных глушителей 800-1205100 наблюдается превышение внешнего шума движущегося трактора с правой стороны;
- уровень звука на рабочем месте оператора с серийным и экспериментальным глушителями 800-1205100 соответствуют ТРТС 031/2012.

### Заключение

Предложена конструкция глушителя с улучшенными характеристиками. Определен вариант конструкции с максимальной эффективностью шумоглушения в составе трактора «Беларус-1523».

Сопротивление выхлопным газам на режиме номинальной мощности серийного глушителя составило 14,1 кПа и не соответствует требованиям ТУ РБ 101326441.142-2004 на двигатели Д-260.2S2.

Сопротивление выхлопным газам экспериментальных глушителей 800-1205100 находилось в пределах 6,4–9 кПа и соответствует требованиям ТУ РБ 101326441.142-2004 на двигатели Д-260.2S2, что, в свою очередь, ниже серийного.

### Список использованных источников

1. Научные подходы решения задач расчета глушителей шума поршневых ДВС / М. В. Кунаш, Г. И. Белохвостов, А. А. Тиунчик [и др.] // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 16–17 окт. 2024 г. : в 2 ч. ; редкол.: Н. Н. Романюк [и др.]. – Минск : БГАТУ. – Ч. 1. – 2024. – С. 195–197.
2. Кунаш, М. В. Перспективная модель глушителя шума трактора / М. В. Кунаш, Г. И. Белохвостов, А. И. Мельнов // Актуальные проблемы и перспективы развития сельских территорий и кадрового обеспечения агропромышленного комплекса : сб. ст. III Междунар. науч.-практ. конф., 7–8 июня 2023 г. – Минск : БГАТУ, 2023.

3. Комкин, А. И. Разработка современных методов расчета и проектирования автомобильных глушителей шума с требуемыми характеристиками : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 01.04.06 / Комкин Александр Иванович ; Балт. гос. техн. ун-т «Военмех» им. Д. Ф. Устинова. – СПб., 2012. – 48 с.
4. Кунаш, М. В. Совершенствование глушителя шума тракторов «БЕЛАРУС» / М. В. Кунаш, Г. И. Белохвостов, Н. И. Зезетко // Агропанорама. – 2024. – № 1 (161). – С. 12–16.
5. Глушители шума поршневых двигателей внутреннего сгорания: классификация, основные требования, инновационные конструкции / Г. И. Белохвостов, М. В. Бренч, М. В. Кунаш [и др.] // Производство и переработка сельскохозяйственной продукции : сб. науч. ст. VIII Междунар. науч.-практ. конф., 23–25 ноября 2022 г. ; редкол.: Н. М. Дерканосова [и др.]. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2022. – С. 56–64.
6. Груданов, В. Я. Моделирование и оптимизация гидравлических и акустических характеристик глушителей шума поршневых двигателей на основе теории чисел / В. Я. Груданов, Г. И. Белохвостов, Л. Т. Ткачева // Горная механика и машиностроение. – 2020. – № 4. – С. 28–42.
7. Новые направления в конструировании глушителей шума поршневых двигателей внутреннего сгорания / В. Я. Груданов, Л. Т. Ткачева, Г. И. Белохвостов, М. В. Кунаш // Вестник БарГУ. Серия: Технические науки. – 2022. – № 2 (12). – С. 74–84.
8. Современные подходы к разработке глушителей шума поршневых двигателей внутреннего сгорания / Г. И. Белохвостов, М. В. Бренч, М. В. Кунаш [и др.] // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства : сб. науч. тр. ; редкол.: В. В. Гусаров (гл. ред.) [и др.]. – Горки : БГСХА, 2023. – Вып. 8. – С. 40–45.
9. Груданов, В. Я. Научно-практические подходы к совершенствованию конструкций глушителей шума поршневых двигателей внутреннего сгорания на основе теории чисел / В. Я. Груданов, Г. И. Белохвостов, Л. Т. Ткачева // Наука и техника. – 2021. – Т. 20, № 4. – С. 434–444.

**В. С. Корко, И. Б. Дубодел, П. В. Кардашов**

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»  
г. Минск, Республика Беларусь*

*E-mail: innadubodel@gmail.com; Korko.S@mail.ru*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИНФРАКРАСНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ**

*Аннотация.* Исследованы электрические, энергетические и спектральные характеристики инфракрасных излучателей различных типов, обоснованы требования и технические рекомендации к параметрам источников инфракрасного излучения для термической обработки материалов.

*Ключевые слова:* инфракрасный излучатель, спектр излучения, длина волны, трубчатый электронагреватель, газокерамический излучатель, кварцевая лампа, напряжение, сила тока, мощность, коэффициент полезного действия, радиационная температура, рабочая температура источника, электрические, энергетические, спектральные характеристики.

**V. S. Korko, I. B. Dubodel, P. V. Kardashov**

*EI "Belarusian State Agrarian Technical University"  
Minsk, Republic of Belarus*

*E-mail: innadubodel@gmail.com; Korko.S@mail.ru*

## **STUDY OF CHARACTERISTICS OF INFRARED EMITTERS FOR THERMAL TREATMENT OF MATERIALS**

*Abstract.* The electrical, energy and spectral characteristics of infrared emitters of various types were studied, and the requirements and technical recommendations for the parameters of infrared radiation sources for thermal processing of materials were substantiated.

*Keywords:* infrared emitter, emission spectrum, wavelength, tubular electric heater, gas-ceramic emitter, quartz lamp, voltage, current strength, power, efficiency, radiation temperature, operating temperature of the source, electrical, energy, spectral characteristics.

### **Введение**

Эффективность воздействия инфракрасного излучения (ИК) на обрабатываемые материалы определяется длиной волны и энергией фотона, а также уровнем облученности и продолжительностью процесса. В соответствии с государственным стандартом [1] для практических целей любое электромагнитное излучение в длинноволновом диапазоне 780 нм ...1 мм. Инфракрасный спектр разделен по результатам производимой биологической опасности на три диапазона: инфракрасное излучение А (ИК-А) (*infrared A (IR-A)*) – оптическое излучение, которое распространяется в спектральном интервале от 780 до 1 400 нм; инфракрасное излучение В (ИК-В) (*infrared B (IR-B)*) – оптическое излучение в спектральном интервале от 1 400 до 3 000 нм; инфракрасное излучение С (ИК-С) (*infrared C (IR-C)*) – оптическое излучение в спектральном интервале от 3 000 нм до 1 мм.

Анализ различных литературных источников показывает, что инфракрасный нагрев получил широкое распространение в различных процессах сельскохозяйственного производства (дезинсекция, сушка, нагрев материалов, стерилизация, обеззараживание, обогрев животных и др.) благодаря своим специфическим особенностям и технологическим эффектам. ИК-излучение обладает хорошей проникающей способностью и в процессе теплового преобразования энергия его поглощенного фотона превращается в энергию колебательного движения молекул приемника [2–4]. За счет объемного поглощения ИК-излучения температура внутри материала приемника

может оказаться выше температуры его поверхности, что способствует более интенсивному удалению влаги, чем при контактной и конвективной сушке.

Установки для нагрева, обеззараживания, стерилизации и других технологий обработки сельскохозяйственных материалов относят к облучательным установкам термического действия. Кинетика накопления тепловой энергии материалом при поглощении ИК-лучей, а также распределение температуры в объеме зависят от физических параметров объекта обработки, условий его охлаждения и параметров облучательной установки [3–5].

Тепловое излучение от ИК-нагревателя не поглощается воздухом, поэтому вся энергия от излучателя почти без потерь достигает обогреваемых поверхностей и материалов. Причем теплота выделяется только в зоне его прямого действия, т. е. нагрев носит локальный характер, что и обеспечивает определенные преимущества перед другими нагревательными установками. Например, при использовании ИК-нагревателя практически отсутствует скапливание более теплого воздуха под сводом рабочей камеры, потолком или крышей здания, что характерно, например, для конвективного обогрева. Таким образом, использование ИК-источников приводит к снижению потребления энергии и уменьшению затрат на нагрев по сравнению с традиционными способами [4–6].

Эффективность инфракрасного нагрева зависит от выбора излучателей, которые должны удовлетворять следующим основным требованиям: максимальному соответствию длины волны потока излучения, поглощательной способности объекта нагрева; безопасности в пожарном отношении и в обслуживании; простоте и надежности в работе.

Цель настоящей работы состоит в исследовании электрических, энергетических и спектральных характеристик инфракрасных излучателей различных типов (электрического, газового и газо-керамического), выработке требований и технических рекомендаций к параметрам источников инфракрасного излучения для установок термической обработки сельскохозяйственных материалов.

Задачи исследования включали разработку методики и измерительного стенда, исследование электрических, энергетических и спектральных характеристик инфракрасных излучателей, обоснование требований по электрическим и энергетическим параметрам для технологических установок термической обработки.

## Основная часть

Максимального эффекта нагрева ИК-лучами достигают при соответствии спектра излучения спектру поглощения обрабатываемого материала. Наибольшая поглощательная способность большинства веществ лежит в инфракрасной области. При этом каждое вещество имеет свой ярко выраженный максимум поглощения и пропускания в определенном диапазоне волн. Так, при дезинсекции зерна наилучший эффект достигается при длине волны 2,7–3,7 мкм, при сушке зерна – 3,7–5,5 мкм и т. д. [2–3].

Излучающая способность тел ( $\text{Вт/м}^2$ ) зависит от температуры по закону Стефана – Больцмана [3]:

$$E = 5,7\varepsilon \left( \frac{T_{\text{ц}}}{100} \right)^4, \quad (1)$$

где  $\varepsilon$  – степень черноты тела;  $T_{\text{ц}}$  – цветовая температура излучающей поверхности, К.

Положение максимума излучения соответствует закону смещения Вина:

$$\lambda_{\text{макс}} = \frac{2896}{T_{\text{ц}}}. \quad (2)$$

где  $\lambda_{\text{макс}}$  – длина волны излучения, мкм.

Связь между излучательной и поглощательной способностями тел определяют по закону Кирхгофа. Для серого тела отношение излучательной способности  $e_T$  к его поглощательной способности  $\alpha_T$  является функцией длины волны и температуры

$$\frac{e_T}{\alpha_T} = f(\lambda, T). \quad (3)$$



Как видно из приведенных уравнений (1–3), излучающая способность тел прямо пропорциональна температуре тела в четвертой степени, длина волны излучения обратно пропорциональна этой температуре. Излучательная и поглощательная способности тел зависят от температуры и длины волны.

В зависимости от температуры источника инфракрасных лучей (тела накала) излучатели подразделяют на низкотемпературные ( $T = 673 \dots 973$  К;  $\lambda_{\text{макс}} = 3 \dots 4$  мкм); среднетемпературные ( $T = 973 \dots 1473$  К;  $\lambda_{\text{макс}} = 2 \dots 3$  мкм) и высокотемпературные ( $T = 1473 \dots 2773$  К;  $\lambda_{\text{макс}} = 1 \dots 2$  мкм) [2–4].

В качестве источников инфракрасных лучей обычно используют электрические и газокерамические излучатели. Низкотемпературными электрическими излучателями являются трубчатые электронагреватели (ТЭН); среднетемпературными – кварцевые трубки с нихромовой спиралью, спирали на керамических основаниях; высокотемпературными – кварцевые лампы (ИКН, КГТ, КГТО и др.), карбидокремниевые, металлические стержневые излучатели из силита, дисилицида молибдена, карборунда с температурой до 1873 К, применяющиеся в промышленных нагревательных печах [5–10].

Измерительный стенд для проведения исследований должен обеспечить включение и работу электрических излучателей, варьирование режимов в технологически обусловленных пределах, доступность измерения электрических, энергетических и спектральных характеристик и т. д. Схема электрическая принципиальная измерительного стенда приведена на рисунке 1.

Автоматический выключатель  $QF$  обеспечивает коммутацию электрической сети, защиту от короткого замыкания. Выключатель  $QS$  позволяет оперативно коммутировать нагрузку, лабораторный автотрансформатор  $TV$  – изменять питающее напряжение, подаваемое на ИК-излучатели, измерительные приборы вольтметр  $pV$ , амперметр  $pA$  и ваттметр  $pW$  – фиксировать соответствующие параметры. К выходным зажимам 1 и 2 подключают источники ИК-излучения. Основными энергетическими и электрическими параметрами инфракрасных излучателей являются питающее напряжение, сила тока, мощность, коэффициент полезного действия, рабочая температура источника, длина волны максимального излучения, распределение радиационной температуры на обогреваемой поверхности, величина зоны равномерной плотности излучения и др. Эти параметры в основном определяют области наиболее эффективного использования каждого типа инфракрасного излучателя.

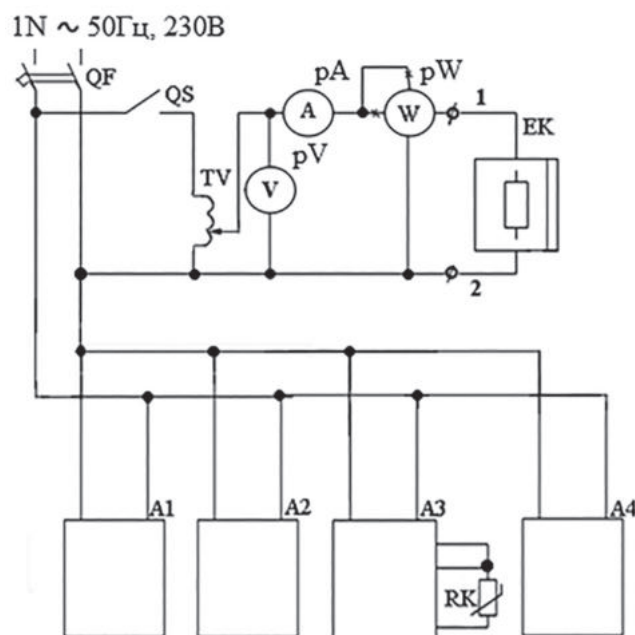


Рисунок 1 – Схема электрическая принципиальная измерительного стенда:  
 $A1$  – универсальный монохроматор;  $A2$  – пирометр;  $A3$  – потенциометр;  $A4$  – тепловизор

Для определения рабочей температуры тела излучения инфракрасный излучатель размещали на измерительном стенде, выбирали требуемый режим работы, определяемый величиной питающего напряжения (для электрического излучателя) или количеством газокислородной смеси (для газового излучателя), включали в работу и выдерживали до установившейся температуры. Условия работы могут быть обусловлены наличием или отсутствием отражателя, различной высотой размещения излучателей, их числом и взаимным расположением над рабочей поверхностью.

Измерения цветовой температуры  $T_c$  производили с помощью визуального общепромышленного пирометра «Проминь», установленного на штативе. С помощью перемещения окуляра добивались резкой видимости нити в поле зрения. Наводку параметров на резкость производили передвижением объектива. Фотометрирование выполняли, перемещая пирометр на штативе ближе к излучателю, а затем дальше. Показания снимали при уравнивании яркостей изображения объекта с яркостью нити пирометрической лампы. Истинную температуру тела излучателя получали как сумму показаний прибора и поправки в зависимости от спектральной излучательной способности объекта измерения. Измерение цветовой температуры тела нагрева производили при различном питающем напряжении источника инфракрасного излучения.

Длину волны максимального излучения  $\lambda_{\text{макс}}$ , ее зависимости от питающего напряжения исследовали с помощью пирометра по вышеприведенной методике и рассчитывали по закону Вина (уравнение 2). Зависимость  $\lambda_{\text{макс}}$  от напряжения питания  $\lambda_{\text{макс}} = f(U)$  находили расчетным путем по значению  $T_c = f(U)$ . Энергетическую характеристику поля инфракрасного излучения, распределение радиационной температуры на обогреваемой поверхности, величину зоны равномерной плотности излучения исследовали с помощью термостолбика, перемещая его по рабочей поверхности стенда, начиная от центра по взаимно перпендикулярным направлениям, затем по линиям, параллельным осевой линии излучателя на расстоянии 100 мм друг от друга. Визуальное распределение температурных полей на рабочей поверхности исследовали с помощью тепловизора ТВ-03.

Камеру тепловизора направляли на рабочую поверхность и с помощью фотокамеры регистрировали телевизионное изображение объекта. Порядок работы с тепловизором приведен в инструкции по его эксплуатации. Все осуществляли с пятикратной повторностью. Обработку результатов производили по общепринятой методике статистической обработки.

Зависимость изменения потока излучения ИК-излучателя от напряжения питания  $\Phi = f(U)$  и расстояния от ИК-излучателя до поверхности нагрева  $\Phi = f(h)$  определяли термостолбиком при его расположении в центре рабочей поверхности.

Определение спектральной плотности излучения осуществляли универсальным монохроматором. При повороте призменного столика монохроматора в его окуляр направляются лучи различной длины волны. Выходной окуляр направлен на приемный окуляр фотосопротивления ФСД-Г2, выходные концы которого подсоединены к селективному микровольтметру типа В6 – 9. Перемещая призменный столик вдоль спектра, определяли зависимость показаний милливольтметра от длины волны  $U = f(\lambda)$ . Затем измеряли интенсивность излучения объекта без монохроматора при  $\lambda_{\text{общ}}$ . Полученное значение  $U_{\Sigma}$  милливольтметра являлось базовым. Относительное значение интенсивности излучения определяли как  $k = U_{\Sigma}/U_{\lambda}$ .

Граничные пределы изменения питающего напряжения лампы определяли исходя из пределов работоспособности лампы – от 170 В до 220 В.

### Результаты исследований

При выборе спектрального состава источников излучения для термической обработки материала необходимо учитывать соотношение между спектральными характеристиками излучателя и объекта облучения.

При номинальных параметрах температура излучателя в кварцевой галогенной лампе может находиться в пределах 1 650...2 800 К и  $\lambda_{\text{макс}} = 1,5...1,03$  мкм, что не соответствует спектру поглощения органических материалов.

На рисунке 2 приведены относительные спектральные характеристики электрического излучателя КГТ-1500.

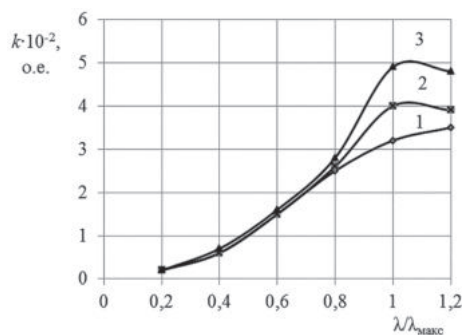


Рисунок 2 – Относительная спектральная зависимость распределения лучистого потока электрического излучателя КГТ-1500 при напряжениях питания: 1 – 170 В; 2 – 200 В; 3 – 220 В

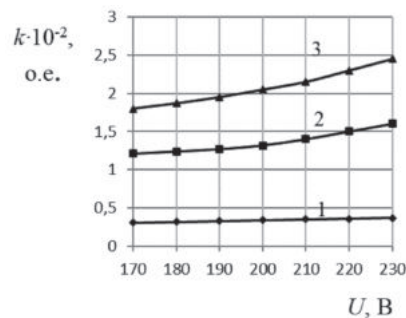


Рисунок 3 – Зависимость изменения относительной интенсивности монохроматического излучения электрического излучателя КГТ-1500 от напряжения питания при длине волны  $\lambda$ : 1 – 0,72 мкм; 2 – 0,56 мкм; 3 – 0,3 мкм

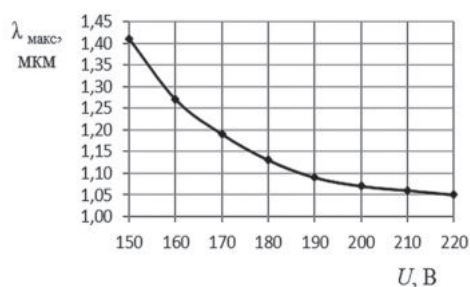


Рисунок 4 – Зависимость длины волны излучения максимальной интенсивности электрического излучателя КГТ-1500 от напряжения питания

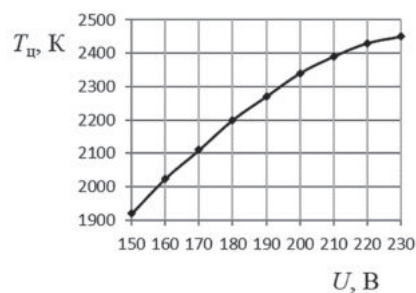


Рисунок 5 – Зависимость цветовой температуры электрического ИК-излучателя КГТ-1500 от напряжения питания

Интенсивность монохроматического излучения зависит в некоторой степени от питающего напряжения (рисунок 3).

Из рисунков 2 и 3 видно, что изменение напряжения несущественно сказывается и на изменении соотношения потоков монохроматического излучения в спектре лампы. К примеру, монохроматическое излучение красного цвета спектра при  $\lambda = 0,72$  мкм в пределах изменения напряжения 220...170 В (25 %) изменяется в пределах 3...5 %. Значения изменения более высоких частот спектра еще меньше.

Распределение интенсивностей излучения в спектре неравномерное. Наблюдается центральный максимум, соответствующий циклической частоте колебаний источника излучения. С изменением питающего напряжения в пределах 170...220 В (определяемого обеспечением йодного цикла галогенной лампы) этот максимум смещается в значительных пределах. Положение максимума излучения интегрального потока ИК-излучения (рисунок 4) изменяется пропорционально изменению цветовой температуры (рисунок 5) и в указанных пределах изменения питающего напряжения  $\lambda_{\text{макс}}$  увеличивается от 1,03 до 1,36 мкм,  $T_{\text{ц}}$  уменьшается на 650 К.

Очевидно, что положение максимума ИК-излучения лампы зависит от температуры излучателя, которая, в свою очередь, определяется значением питающего напряжения и условиями охлаждения лампы в технологической установке. Улучшение охлаждения лампы возможно путем обдува воздухом [4, 5]. Вместе с тем эта мера уменьшит долю отдачи энергии излучением, которая при номинальных условиях составляет 72...86 %, и увеличит конвективную составляющую [10].

При росте питающего напряжения улучшаются, с точки зрения термической обработки материала, спектральные характеристики лампы КГТ-1500 (рисунки 2–5), но ухудшаются энергетические показатели.

Как видно из рисунков 6 и 8, почти в квадратичной зависимости от питающего напряжения изменяется мощность нагревателя, а также энергетическая облученность.

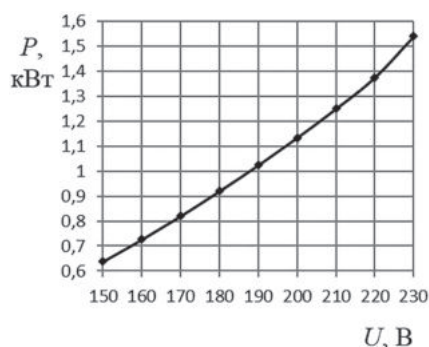


Рисунок 6 – Зависимость мощности электрического ИК-излучателя КГТ–1500 от напряжения питания

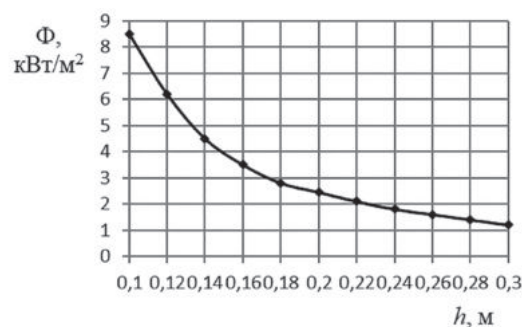


Рисунок 7 – Зависимость удельной облученности поверхности от расстояния до ИК-излучателя КГТ–1500

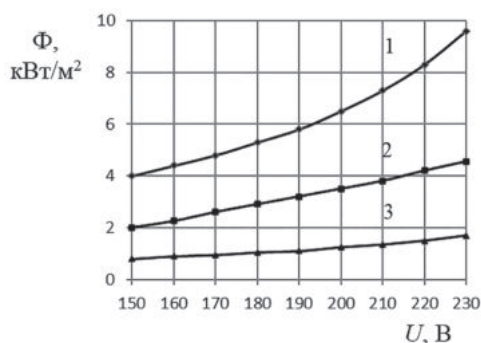


Рисунок 8 – Зависимость удельной облученности поверхности от напряжения питания электрического излучателя КГТ–1500 при расстоянии до источника: 1 –  $h = 0,08$ ; 2 –  $h = 0,15$ ; 3 –  $h = 0,25$  м

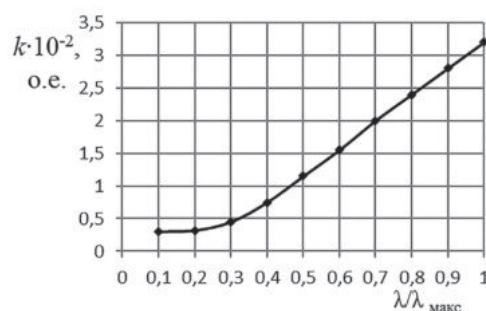


Рисунок 9 – Относительная спектральная зависимость распределения лучистого потока электрического излучателя КГТ–1500 с трубчатым керамическим регенератором

Естественно, при уменьшении напряжения потребуется увеличение количества ламп для создания технологически необходимой мощности установки. В конкретных условиях это не всегда возможно и экономически нецелесообразно, так как потребует применения специальных устройств для преобразования напряжения. Кроме того, уменьшение напряжения питания лампы ограничено минимальной температурой нити накала для обеспечения йодного цикла, и даже при минимальном значении напряжения питания значение частоты максимального излучения не достигает оптимального значения, соответствующего максимуму поглощения зерна (1,8...2,5 мкм).

Исследования показали, что при минимальном значении питающего напряжения лампы КГТ значение  $\lambda_{\text{макс}}$  не поднимается выше 1,17 мкм.

Энергетическая облученность поверхности при номинальных параметрах источника питания излучателя КГТ–1500 изменяется в зависимости от высоты его расположения над облучаемой поверхностью (рисунок 7).

В технологически реальных пределах изменения высоты подвеса 0,1...0,15 м энергетическая облученность находится в пределах 4...8,5 кВт/м².

На рисунке 9 представлена спектральная характеристика электрического излучателя с лампой КГТ и керамическим цилиндрическим регенератором излучения. Использование последнего позволило эффективно сместить спектр в область ИК-излучения.

Длина волны максимального излучения в данном случае составляет 2,47 мкм, т. е. верхний предел спектра поглощения органических материалов при значительном снижении интенсивности излучения в видимой части спектра (0,3...0,7 мкм). Однако такая конструкция излучателя требует изучения и расчета теплового режима работы лампы.

Результаты исследования спектральных и энергетических характеристик различных газокерамических источников ИК-излучения приведены на рисунках 10 и 11.

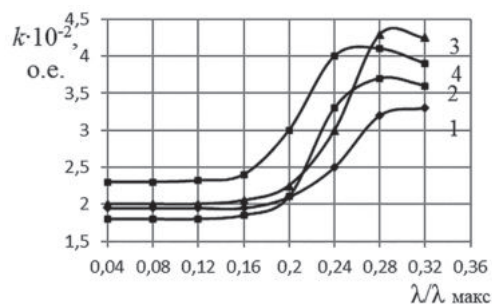


Рисунок 10 – Относительная спектральная зависимость распределения лучистого потока газовых ИК-излучателей: 1 – «Звездочка»; 2 – «Звездочка» экспериментальная; 3 – «ГИИВ-1» экспериментальная; 4 – ГИИМ-12.7

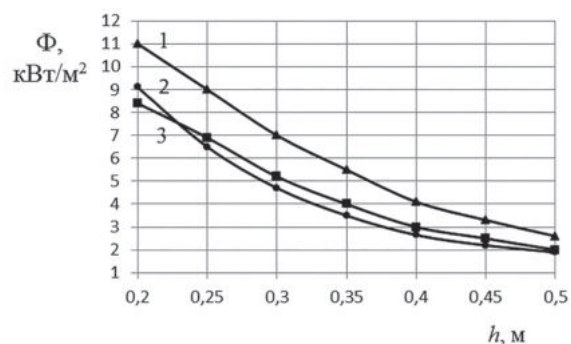


Рисунок 11 – Зависимость удельной облученности от расстояния до газового ИК-излучателя: 1 – «Звездочка»; 2 – «Звездочка» экспериментальная; 3 – «ГИИВ-1» экспериментальная

По условиям опытов спектральные и энергетические характеристики исследовались при сопоставимых параметрах. В частности, подбирались такие режимы, чтобы температура излучающей поверхности была по возможности одинаковой. Так, в опытах для горелок «Звездочка», «Звездочка экспериментальная», «ГИИВ-1 экспериментальная» температура металлической сетки составляла 1231...1273 К, температура керамики – 1293...1363 К.

Для указанных горелок величина  $\lambda_{\text{макс.ср}}$  соответственно составляла 2,19; 2,24; 2,24 мкм, для горелки с металлической сеткой ГИИМ-12.7 температура поверхности составляла 1103...1133 К,  $\lambda_{\text{макс.ср}} = 2,59$  мкм.

Общий анализ зависимостей (рисунки 10, 11) показывает, что эти характеристики в основном идентичны характеристикам электрического излучателя.

Как видно из относительных спектральных характеристик газокерамических излучателей (рисунок 10), положение максимума интенсивности излучения в основном соответствует  $\lambda_{\text{макс}}$ , полученному по цветовой температуре по закону Вина. Вместе с тем следует отметить, что в зоне  $\lambda_{\text{макс.ср}}$  интенсивность монохроматического излучения неодинакова для различных горелок. Наибольшую интенсивность монохроматического излучения обеспечивает горелка «ГИИВ-1 экспериментальная», затем ГИИМ-12.7, «Звездочка экспериментальная» и «Звездочка».

Энергетические характеристики газовых горелок в зависимости от высоты подвеса приведены на рисунке 11.

Горелки «Звездочка» и «Звездочка экспериментальная» имеют приблизительно идентичные характеристики. Значительно более высокую энергетическую облученность в сопоставимых условиях обеспечивает горелка «ГИИВ-1 экспериментальная». На графике не представлена соответствующая характеристика для горелки ГИИМ-12.7, так как она отличается от газокерамических горелок своими размерами и температурой поверхности. Для указанных выше условий работы горелка ГИИМ-12.7 обеспечивает энергетическую облученность примерно в 2 раза выше, чем газокерамические горелки типа «Звездочка».

### Заключение

При напряжении питания 220 В и в естественных условиях (температура воздуха 20 °С, без принудительного обдува) температура нити накала галогенной лампы типа КГТ достигает 3200 К и обеспечивается снижением питающего напряжения до 180 В. При этом смещается  $\lambda_{\text{макс}}$  до 1,5 мкм.

Уменьшение питающего напряжения приводит к снижению в квадратичной зависимости мощности лампы и энергетической облученности. С целью повышения КПД лампы, обеспечения длины волны максимума излучения, соответствующего максимуму поглощения зерна, рекомендуется использовать керамический регенератор излучения в виде плоской стенки, что позволяет получить  $\lambda_{\text{макс}} = 1,7...2,5$  мкм.



Газокерамические излучатели типа «Звездочка», «Звездочка экспериментальная», «ГИИВ-I экспериментальная» обеспечивают температуру поверхности в пределах 1 233...1 363 К, что соответствует  $\lambda_{\text{макс.ср}} = 2,1...2,3$  мкм, а горелка ГИИМ-I обеспечивает  $T = 1\,103...1\,133$  К и  $\lambda_{\text{макс.ср}} = 2,59$  мкм. Лучшие энергетические показатели характерны для горелки «ГИИВ-I экспериментальная».

Наиболее рациональным для малогабаритных установок термической обработки сельскохозяйственных материалов является использование электрических ИК-излучателей, отличающихся стабильностью характеристик, простотой работы, обслуживания, ремонта и др.

#### Список использованных источников

1. Безопасность лазерной аппаратуры. Компиляция максимально допустимой экспозиции некогерентного оптического излучения : ГОСТ Р МЭК/ТО 60825-9-2009. – М. : Стандартинформ, 2011. – Ч. 9, 28 с.
2. Степанцов, В. П. Технологическое использование оптического излучения : учеб.-метод. пособие / В. П. Степанцов. – Минск : БГАТУ, 2012. – 208 с.
3. Степанцов, В. П. Светотехника : учеб. пособие / В. П. Степанцов. – Минск : БГАТУ, 2017. – 436 с.
4. Козловская, В. Б. Электрическое освещение : справочник / В. Б. Козловская, В. Н. Радкевич, В. Н. Сацукевич. – 2-е изд. – Минск : Техноперспектива, 2008. – 271 с.
5. Теплотехнический справочник : в 2 т. ; под общ. ред. В. Н. Юренева, П. Д. Лебедева. – М. : Энергия, 1976.
6. Справочная книга по светотехнике ; под общ. ред. Ю. Б. Айзенберга. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 528 с.
7. Керамические инфракрасные излучатели. – URL: <https://electro-nagrev.by/keramicheskie-infrakrasnyi> (дата обращения: 10.07.2023).
8. Инфракрасные нагреватели. – URL: <https://www.promnagrev.ru/infrakrasnye-nagrevateli/karbonovye-nagrevateli> (дата обращения: 11.07.2023).
9. Карбоновые нагревательные инфракрасные лампы. – URL: <https://polymernagrev.ru/catalog/trubchatye-ik-izluchateli/karbonovye-lampy> (дата обращения: 11.07.2023).
10. Теплотехника : учебник / В. Н. Луканин, М. Г. Шатров, Г. М. Камфер, С. Г. Нечаев ; под ред. В. Н. Луканина. – 4-е изд., испр. – М. : Высш. шк., 2003. – 671 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Селиванова В. П., Голдыбан В. В., Комлач Д. И.</b> Актуальность применения автономных мобильных агрегатов в сельском хозяйстве Республики Беларусь .....	3
<b>Бабак Ю. Н., Голдыбан В. В., Воробей А. С., Комлач Д. И., Курилович М. И.</b> Экспериментальные исследования картофелесажалки с высаживающим аппаратом пневматического типа .....	10
<b>Воробей А. С., Ленский А. В., Бегун П. П.</b> Технологии на основе искусственного интеллекта при производстве органического сельского хозяйства .....	17
<b>Бакач Н. Г., Жилич Е. Л., Цалко С. А.</b> Кормление поросят-сосунов .....	25
<b>Жилич Е. Л., Цалко С. А., Рогальская Ю. Н.</b> Принцип работы системы определения промеров тела и живой массы сельскохозяйственных животных .....	30
<b>Жилич Е. Л., Рогальская Ю. Н., Никончук В. В., Бернацкая Д. В.</b> Обработка потока данных при роботизации доения .....	38
<b>Жилич Е. Л., Цалко С. А., Рогальская Ю. Н.</b> Обзор и анализ конструкций пододвигателей и подталкивателей кормов, применяемых на фермах и комплексах КРС. ....	43
<b>Никончук В. В., Бернацкая Д. В., Екельчик О. Л.</b> Результаты испытаний подталкивателя кормов полунавесного ПКП-0,9 .....	57
<b>Жилич Е. Л., Рогальская Ю. Н., Бернацкая Д. В., Никончук В. В.</b> Проведение экспериментальных исследований, анализ и обработка экспериментальных данных макетного образца устройства для приготовления и раздачи полнорационных кормосмесей. ....	61
<b>Жилич Е. Л., Цалко С. А., Екельчик О. Л., Цай В. П.</b> Влияние скармливания различных уровней солодовых ростков в составе комбикормов для откармливаемого молодняка крупного рогатого скота на мясную продуктивность и качество мяса .....	73
<b>Рогальская Ю. Н., Цалко С. А., Цай В. П.</b> Переваримость питательных веществ рационов бычками при скармливании солодовых ростков .....	78
<b>Никончук В. В., Цалко С. А.</b> Разработка технологических схем комплектов оборудования для капельного и мелкодисперсионного охлаждения (тумана) помещения .....	83
<b>Перепечаев А. Н.</b> Научная оценка состояния вопросов и перспективы развития механизации процессов производства льна .....	87
<b>Пылило И. С., Колешко С. П.</b> Применение цифровых технологий при уборке льнотресты ....	91
<b>Пылило И. С., Колешко С. П.</b> Применение цифровых технологий при переработке льнотресты .....	95
<b>Бегун П. П., Микульский В. В.</b> Экспериментальные исследования катковых и рыхлительных рабочих органов для предпосевной подготовки почвы. ....	100
<b>Жешко А. А., Ленский А. В., Володкевич В. И., Шах А. В.</b> Результаты разработки модели движения материальных потоков в технологиях производства зерна. ....	107
<b>Микульский В. В., Лепешкин Н. Д., Бегун П. П., Мижурин В. В.</b> Актуальность разработки сеялки точного высева с централизованной системой подачи семян и удобрений к высевальным аппаратам .....	114
<b>Лепешкин Н. Д.</b> К вопросу взаимодействия плоского клина с почвой. ....	119
<b>Лепешкин Н. Д., Микульский В. В., Мижурин В. В.</b> К обоснованию конструктивно-технологической схемы широкозахватной зерновой сеялки .....	126
<b>Лепешкин Н. Д., Мижурин В. В., Синяк Ю. В.</b> К обоснованию принципиальной схемы и типа рабочих органов агрегата для основной безотвальной обработки почвы. ....	132

<b>Лепешкин Н. Д., Мижурин В. В., Синяк Ю. В.</b> К обоснованию конструктивной схемы агрегата почвообрабатывающего с изменяемой шириной захвата. . . . .	139
<b>Лепешкин Н. Д., Микульский В. В., Скорын В. Н., Бегун П. П., Мижурин В. В., Синяк Ю. В.</b> Агрегат почвообрабатывающий модульный с изменяемой шириной захвата АМП-6. . . . .	143
<b>Лепешкин Н. Д., Мижурин В. В.</b> Определение ширины захвата агрегата модульного почвообрабатывающего к тракторам мощностью 400–450 л. с. . . . .	150
<b>Лепешкин Н. Д., Микульский В. В., Бегун П. П., Мижурин В. В.</b> Плуг оборотный навесной с изменяемым центром масс ПОНС-4-40: особенности конструкции и результаты испытаний. . . . .	154
<b>Капустин Н. Ф.</b> Агротехнические мероприятия по снижению потерь азота и фосфора в окружающую среду в процессе сельскохозяйственной деятельности . . . . .	160
<b>Жешко А. А.</b> Анализ факторов, влияющих на качество внесения твердых минеральных удобрений . . . . .	168
<b>Жешко А. А.</b> Критерий оценки потерь от неравномерного внесения удобрений . . . . .	174
<b>Юрин А. Н.</b> Обоснование рациональных параметров делителя потока плодов при сортировке. . . . .	181
<b>Юрин А. Н.</b> Разработка программы управления системой технического зрения для оптической сортировки плодов (APPLECTL) . . . . .	194
<b>Юрин А. Н., Игнатчик А. А.</b> Результаты предварительных испытаний агрегата для удаления кроны ягодных кустарников АУК-1 . . . . .	202
<b>Юрин А. Н., Юрина А. Н.</b> Определение рациональных конструктивных параметров садового туннельного опрыскивателя . . . . .	209
<b>Юрин А. Н., Кострома С. П.</b> Анализ существующих технических средств для очистки и дезинфекции контейнеров для хранения плодов и овощей . . . . .	220
<b>Юрин А. Н., Викторovich В. В.</b> Обоснование конструктивно-технологической схемы машины для измельчения органических отходов тепличного производства . . . . .	226
<b>Дыба Э. В., Яровенко П. В., Трофимович Л. И., Пунько А. И., Гордиевич А. Ю., Рацкевич Е. А.</b> Обзор и анализ конструкций устройств для снятия полимерных материалов с запрессованных кормов . . . . .	233
<b>Дыба Э. В., Яровенко П. В., Трофимович Л. И., Пунько А. И., Гордиевич А. Ю., Рацкевич Е. А.</b> Обоснование и расчет конструкции устройства для снятия полимерных материалов с запрессованных кормов . . . . .	240
<b>Непарко Т. А., Ловкис В. Б., Быков Н. Н., Дыба Э. В., Трофимович Л. И.</b> Ленточный валкователь: организация работы и схемы формирования валков . . . . .	248
<b>Непарко Т. А., Ловкис В. Б., Быков Н. Н., Дыба Э. В., Трофимович Л. И.</b> Теоретические исследования эксплуатационно-технологических параметров ленточного валкователя . . . . .	253
<b>Пунько А. И., Дрозд С. А., Цубанова И. А., Рацкевич Е. А.</b> Усовершенствование конструкции ударных элементов молотковой дробилки . . . . .	258
<b>Дрозд С. А.</b> Исследование коэффициента восстановления зерна после предварительной деформации на первой стадии при двухстадийном измельчении . . . . .	261
<b>Тарасенко В. Е., Жешко А. А.</b> Эффективные методы и средства диагностирования автотракторных двигателей . . . . .	268
<b>Гедроить Г. И., Занемонский С. В., Варфоломеева Т. А., Новик А. С.</b> Оценка уровня воздействия на почву при сдваивании колес трактора . . . . .	274
<b>Гедроить Г. И., Занемонский С. В., Варфоломеева Т. А., Новик А. С.</b> Развитие конструкций протекторов шин . . . . .	280
<b>Мисун Ал-р Л., Мисун Л. В., Азаренко В. В., Гаркуша А. В.</b> Оценка загрязнения атмосферного воздуха при эксплуатации автотранспортных средств . . . . .	286
<b>Мисун А. Л.</b> Оценка условий и безопасности выполнения регулировочных воздействий при эксплуатации технических средств . . . . .	293
<b>Русских В. В., Андруш В. Г., Белохвостов Г. И., Гурина А. Н., Жаркова Н. Н., Корчик С. А.</b> Безопасность труда при работе крупногабаритной сельскохозяйственной техники под линиями электропередачи . . . . .	301

<b>Тарасенко В. Е., Ролич О. Ч., Жешко А. А.</b> Программный драйвер цифровых датчиков вибрации, входящих в состав многоканального прибора интегрированного виброакустического и теплового диагностирования . . . . .	305
<b>Тарасенко В. Е., Щурин К. В., Жешко А. А.</b> Технический сервис мобильных машин с учетом variability условий эксплуатации . . . . .	313
<b>Кунаш М. В., Белохвостов Г. И.</b> Экспериментальные исследования опытного глушителя . . . . .	322
<b>Корко В. С., Дубодел И. Б., Кардашов П. В.</b> Исследование характеристик инфракрасных излучателей для термической обработки материалов. . . . .	333

Научное издание

**МЕХАНИЗАЦИЯ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ  
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

**Межведомственный тематический сборник**

*Основан в 1968 году*

**Выпуск 58**

Редакторы *А. Л. Маслякова, Т. А. Матох*  
Художественный редактор *В. В. Домненков*  
Технический редактор *О. А. Ткачева*  
Компьютерная верстка *И. В. Счеснюк, М. Э. Юрени*

Подписано в печать 17.04.2025. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага офсетная. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 39,99. Уч.-изд. л. 28,2. Тираж 100 экз. Заказ 84.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Беларуская навука».  
Свидетельства о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/18 от 02.08.2013, № 2/196 от 05.04.2017.  
Ул. Ф. Скорины, 40, 220084, г. Минск.