На правах рукописи

БАРЫКИН Константин Вадимович

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПЕРЕГРУЗОЧНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВНЕСЕНИЯ ТВЕРДЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ И ДЕФЕКАТА

4.3.1. Технологии, машины и оборудование
для агропромышленного комплекса

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Воронеж – 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ).

Научный руководитель: **Колесников Николай Петрович**, кандидат технических наук, доцент.

Официальные оппоненты: **Таркивский Виталий Евгеньевич**, доктор технических наук, федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса» (ФГБНУ «Росинформагротех»), Новокубанский филиал, директор;

Майстренко Николай Александрович, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» (ФГБОУ ВО Российский ГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева), кафедра эксплуатации машинно-тракторного парка, доцент.

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Курский государственный аграрный университет имени И.И. Иванова» (ФГБОУ ВО Курский ГАУ)

Защита состоится 24 декабря 2026 г. в 13 часов 00 минут на заседании диссертационного совета 35.2.008.01, созданного на базе ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 13, учебный корпус агроинженерного факультета (корпус № 3), аудитория 319.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ и на сайте www.vsau.ru («Диссертационные советы» – «Защиты» – «35.2.008.01»), а также по ссылке: https://ds.vsau.ru/?p=13918.

Автореферат разослан 23 октября 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета  Афоничев Дмитрий Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Обеспечение продовольственной безопасности страны является одним из приоритетных направлений государственной политики, закрепленных в Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации (Указ Президента Российской Федерации от 21.01.2020 г. № 20). Достижение этой цели неразрывно связано с повышением эффективности сельскохозяйственного производства, обеспечением устойчивого роста урожайности сельскохозяйственных культур и сохранением плодородия почв. Черноземы Центрально-Черноземного региона – уникальный природный ресурс, обеспечивающий производство значительной части зерна, сахарной свеклы и масличных культур в стране. Вместе с тем длительное интенсивное использование почв, сокращение объемов внесения органических удобрений и применение физиологически кислых форм минеральных удобрений привело к развитию деградационных процессов. По данным агрохимической службы, в Воронежской области кислые почвы занимают свыше 0,84 млн. га, что создает угрозу снижения продуктивности сельскохозяйственных угодий. Ежегодно в регионах с развитым животноводством и свеклосахарной промышленностью образуются сотни тысяч тонн подстилочного навоза и дефеката, которые накапливаются на территории сельскохозяйственных предприятий и полях фильтрации сахарных заводов. При этом существует значительный разрыв между фактическими объемами накопления и внесения этих материалов. Основная причина этого несоответствия – высокие затраты труда и средств на транспортировку и внесение, обусловленные неэффективным использованием машин, что делает данную операцию экономически невыгодной при удаленности полей от мест хранения, (накопления) твердых органических удобрений и дефеката.

Ключевая проблема заключается в малой эффективности использования разбрасывателей, для которых характерен низкий коэффициент использования времени смены, отражающий, в какую часть общей продолжительности смены машина выполняет полезную работу. Следствием низкого коэффициента использования времени смены является невысокая эксплуатационная производительность. Таким образом, для выполнения необходимого объема работ по внесению твердых органических удобрений и дефеката требуется большой парк разбрасывателей или продолжительные сроки внесения. Чрезмерно увеличивать сроки внесения не всегда возможно ввиду необходимости выполнения других обязательных сельскохозяйственных работ.

Высокая стоимость современных разбрасывателей усугубляет ситуацию. Для многих сельхозпредприятий приобретение новой дорогостоящей узкоспециализированной техники в условиях сложной экономической обстановки не представляется возможным, что делает повышение эффективности использования уже имеющегося парка машин особенно актуальной задачей.

Следовательно, актуальность темы исследования обуславливается необходимостью повышения объемов внесения твердых органических удобрений и дефеката при общем снижении удельных затрат на внесение. В связи с этим, ключевыми направлениями исследований становятся: совершенствование технологии внесения твердых органических удобрений и дефеката, что позволит снизить неэффективное использование машин, а также разработка и внедрение

ресурсосберегающих решений, для повышения эффективности использования главного звена линии внесения и сопутствующего процесса транспортировки и внесения материалов. Рост производительности труда и снижение эксплуатационных издержек позволят обеспечить применение вносимых материалов для восстановления деградирующих черноземов.

Диссертационная работа выполнена в ходе реализации плана научно-исследовательской работы (НИР) агроинженерного факультета ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ «Инновационные направления совершенствования процессов и технических средств механизации и электрификации сельскохозяйственного производства», раздел «Инновационные направления совершенствования процессов и технических средств механизации производства продукции растениеводства», которая утверждена ученым советом университета (номер государственной регистрации 01.200.1-003986).

Степень разработанности темы. Проблемам повышения эффективности внесения удобрений посвящены работы А.Ю. Брюханова, А.М. Бондаренко, А.П. Дьячкова, М.Г. Догановского, Н.П. Колесникова, Е.В. Козловского, А.Д. Бровченко, Н.М. Марченко, Г.И. Личмана и др. Однако их исследования не касались применения прицепов-перегрузчиков при внесении твердых органических удобрений и дефеката. Также ими не рассматривалось влияние последствия простоев на показатели производственной линии внесения, которое присуще многозвенным технологическим линиям, у которых присутствует жесткая технологическая связь.

Применением прицепов-перегрузчиков и совершенствованием многозвенных производственных линий с учетом последействия ожидания агрегатов занимались такие ученые как В.Е. Таркивский, А.Г. Левшин, А.В. Орлянский, Н.А. Майстренко и др. Однако применительно к перегрузочной технологии внесения твердых органических удобрений и дефеката подобные исследования не проводились.

Мировые лидеры по производству сельскохозяйственной техники и оборудования (KUHN, Kverneland, Bergman и др.) активно работают над совершенствованием техники для транспортировки и внесения органических удобрений. При этом все чаще прослеживается потребность расширения перечня выполняемых работ существующими сельскохозяйственными машинами.

Объект исследования: технологический процесс внесения твердых органических удобрений и дефеката.

Предметом исследования являются закономерности взаимодействия транспортно-перегрузочных и распределительных агрегатов в линии внесения твердых органических удобрений и дефеката.

Цель работы: повышение производительности агрегатов и снижение удельных эксплуатационных затрат при внесении твердых органических удобрений и дефеката по перегрузочной технологии за счет применения в линии внесения прицепов-перегрузчиков.

Поставленная цель может быть достигнута в случае реализации **гипотезы**, заключающейся в том, что применение прицепов-перегрузчиков в линии внесения твердых органических удобрений и дефеката позволит повысить производительность основного звена, что обеспечит снижение затрат на внесение твердых органических удобрений и дефеката.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи.**

1. Разработать способ внесения твердых органических удобрений и дефеката, обеспечивающий повышение производительности разбрасывателей.

2. Выявить аналитические зависимости для определения временных циклов и параметров взаимодействия звеньев линии внесения твердых органических удобрений и дефеката, рациональной грузоподъемности разбрасывателя и прицепа-перегрузчика.

3. Разработать методики определения параметров линии внесения твердых органических удобрений и дефеката, обоснования рациональных параметров выгрузного устройства прицепа-перегрузчика по критерию максимальной производительности.

4. Разработать имитационную модель линии внесения твердых органических удобрений и дефеката для исследования взаимодействия различных составов звеньев с жесткой связью.

5. Экспериментально установить закономерности изменения потребляемой мощности выгрузным устройством, просыпаемости материала из выгрузного устройства в зависимости от секундной подачи при разных скоростях движения транспортерной ленты и различной плотности выгружаемого материала.

Научная новизна работы заключается в следующем.

1. Предложен способ внесения твердых органических удобрений и мелиорантов, отличающийся тем, что загружают вносимый материал из бурта, расположенного на краю поля, в прицеп, который снабжен ленточным выгрузным устройством, перевозят вносимый материал и перегружают его в разбрасыватель, работающий на поле.

2. Получены аналитические зависимости для определения временных циклов и параметров взаимодействия звеньев линии внесения твердых органических удобрений и дефеката, рациональной грузоподъемности прицепа-перегрузчика, отличающиеся тем, что учитывают стохастический характер работы прицепов-перегрузчиков и разбрасывателей.

3. Разработаны методики определения параметров линии внесения твердых органических удобрений и дефеката, обоснования рациональных параметров выгрузного устройства прицепа-перегрузчика по критерию максимальной производительности, отличающиеся тем, что учитывают ожидания транспортно-перегрузочных и технологических агрегатов, энергетические ограничения и технологические особенности процесса перегрузки материала прицепами-перегрузчиками.

4. Предложена имитационная модель линии внесения твердых органических удобрений и дефеката, отличающаяся тем, что линия внесения представляется состоящей из взаимодействующих между собой автономных агентов с жесткой технологической связью.

5. Экспериментально установлены закономерности изменения потребляемой мощности выгрузным устройством, просыпаемости материала из выгрузного устройства в зависимости от секундной подачи при разных скоростях движения транспортерной ленты и различной плотности выгружаемого материала.

Теоретическая значимость работы заключается в получении аналитических зависимостей для определения временных циклов и параметров взаимодействия звеньев линии внесения твердых органических удобрений и дефеката, рациональной грузоподъемности прицепа-перегрузчика; разработке методики определения параметров линии внесения твердых органических удобрений и дефеката и обоснования рациональных параметров выгрузного устройства прицепа-перегрузчика по критерию максимальной производительности; разработке имитационной модели линии внесения твердых органических удобрений и дефеката, которые дополняют теорию рабочих процессов машин для транспортировки и внесения твердых удобрений и мелиорантов.

Практическая значимость работы состоит в том, что предлагаемый способ внесения твердых органических удобрений и мелиорантов (патент № 2832329 РФ) позволяет снизить затраты на внесение твердых органических удобрений и дефеката за счет увеличения производительности основного и погрузочного звеньев линии внесения; разработанная компьютерная программа (свидетельство № 2026616020 РФ) позволяет по совокупности параметров выбрать рациональные составы звеньев линии внесения по предлагаемому виду перегрузочной технологии, которые обеспечивают наименьшие удельные затраты по сравнению как с другими видами перегрузочной технологии, так и с аналогичными составами, применяемыми по прямоточной и перевалочной технологиям.

Методология и методы исследования. Исследования выполнены с применением теории массового обслуживания и имитационного моделирования. Для уточнения применяемых в расчетах значений проводились хронометражные наблюдения и экспериментальные исследования на основе апробированных методик. Измерения проводили сертифицированными и поверенными приборами. Полученные данные обрабатывались согласно стандартным методикам, результаты использовались в разработанной имитационной модели. При этом применялись следующие компьютерные программы: Microsoft Excel, Python-Compiler, AnyLogic.

Положения, выносимые на защиту:

1) способ внесения твердых органических удобрений и мелиорантов, позволяющий повысить производительность основных технологических агрегатов – разбрасывателей и уменьшить уплотнение почвы;

2) аналитические зависимости для определения временных циклов и параметров взаимодействия звеньев линии внесения твердых органических удобрений и дефеката, рациональной грузоподъемности прицепа-перегрузчика, позволяющие оценить влияние многочисленных технических, производственных и организационных факторов на производительность линии внесения, а также коэффициенты использования циклового времени разбрасывателя и прицепа-перегрузчика и обеспечить сокращение простоев машин;

3) методики определения параметров линии внесения твердых органических удобрений и дефеката, обоснования рациональных параметров выгрузного устройства прицепа-перегрузчика по критерию максимальной производительности, позволяющие обеспечить повышение производительности линии внесения твердых органических удобрений и дефеката;

4) имитационная модель линии внесения твердых органических удобрений и дефеката, позволяющая исследовать взаимодействия различных составов звеньев с бесконечно большим числом повторностей;

5) закономерности изменения потребляемой мощности выгрузным устройством, просыпаемости материала из выгрузного устройства в зависимости от секундной подачи при разных скоростях движения транспортерной ленты и различной плотности выгружаемого материала, позволяющие установить рациональные параметры конструкции и режимы работы выгрузного устройства прицепа-перегрузчика, обосновать требования к агрегатируемому трактору.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов диссертационной работы подтверждена численной реализацией аналитических зависимостей, использованием апробированных методик исследования, удовлетворительной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, применением сертифицированного оборудования, современных компьютеров и программного обеспечения, результатами внедрения в производство.

Результаты диссертационной работы используются в ООО «ЭкоНиваАгро», а также в учебном процессе ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Агроинженерия», что подтверждено соответствующими актами внедрения.

Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались в период с 2022 по 2026 год на ежегодных научных конференциях профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, а также на международных, всероссийских и национальных научных конференциях (всего 20 докладов).

Личный вклад соискателя заключается в выборе методов, разработке методик исследований, выполнении математических преобразований, получении аналитических зависимостей, выполненных лично автором; разработке способа внесения твердых органических удобрений и мелиорантов, проведении хронометражных наблюдений и экспериментальных исследований, обработке полученных результатов, разработке имитационной модели и программы для ее реализации, проверке адекватности имитационной модели, формулировке выводов, выполненных при участии автора, подготовке публикаций по теме диссертации.

Публикации. Результаты проведенных исследований опубликованы в 25 научных работах, в том числе три статьи опубликованы в научных журналах, включенных в перечень ВАК. По результатам диссертационной работы получены патент Российской Федерации на изобретение и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы из 133 наименований и четырех приложений. Диссертация изложена на 202 страницах, включает 41 рисунок и 21 таблицу.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, приведена степень ее разработанности, определены объект и предмет исследования, сформулированы цель

и задачи исследований, научная новизна, изложены теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследований, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов, отражены личный вклад соискателя, количество публикаций по теме диссертации, структура и объем диссертационной работы.

В первом разделе «Обзор и анализ технических средств и технологий внесения твердых органических удобрений и дефеката» показано, что подстилочный навоз и дефекат имеют схожие физико-механические параметры: насыпная плотность 0,85…1,0 т/м³, влажность при внесении 30…45 %. Ежегодно в Воронежской области образуется до 1,5 млн. т подстилочного навоза и 0,6 млн. т дефеката. Рациональным способом утилизации является их применение в качестве удобрений и мелиоранта.

Анализ машин для внесения твердых органических удобрений и дефеката показал, что большинство производителей выпускают разбрасыватели грузоподъемностью от 7 до 24 т. При этом ключевой проблемой эксплуатации разбрасывателей является низкий коэффициент использования времени смены, который составляет 0,2…0,3. Это связано с тем, что значительная часть времени цикла приходится на транспортировку материала от места хранения до поля и обратно, особенно при увеличении расстояния перевозки.

Универсальные прицепы с выгрузными устройствами ленточного типа могут выполнять функции прицепов-перегрузчиков, совмещая транспортную и перегрузочную операции. Также усилия производителей универсальных прицепов направлены на постоянное расширение функционала выпускаемой техники, что позволяет еще больше увеличить их годовую загрузку. В данный момент существует потребность в загрузке универсальных прицепов в позднеосенний и ранневесенний периоды, когда основные полевые работы уже выполнены. Приведенный график машиноиспользования (рисунок 1) подтверждает потребность в дополнительной загрузке универсальных прицепов.

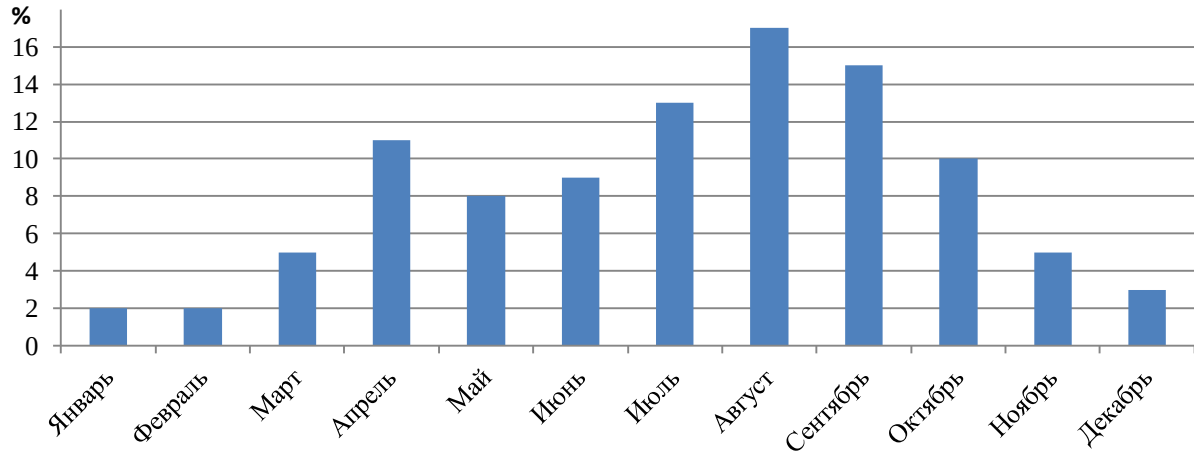


Рисунок 1 – Гистограмма машиноиспользования универсальных прицепов в течение года

Анализ существующих технологий внесения выявил, что прямоточная технология эффективна при малых расстояниях транспортировки, перевалочная – при больших (свыше 3…4 км). Перегрузочная технология занимает промежуточное положение, однако существующие ее виды имеют существенные недостатки. Вид с использованием самосвалов, разгружающихся непосредственно в

разбрасыватель, в данный момент не используется из-за физического и морального устаревания специализированных машин, а также требует высокой проходимости автомобильных транспортных средств. Вид с применением эстакады усложняет организацию работ и создает риск опрокидывания автомобилей. Также применявшиеся ранее эстакады не приспособлены для загрузки разбрасывателей большой грузоподъемности. Вид с формированием рядов куч на поле и использованием автономного перегрузчика требует свободного поля и дополнительного погрузочного звена. Кроме того, дополнительная перевалка приводит к потерям азота. Наиболее перспективным является использование прицепов-перегрузчиков, позволяющих объединить положительные стороны различных видов перегрузочной технологии: отсутствие необходимости в отдельном погрузочном звене на поле, снижение потерь азота благодаря перегрузке «из кузова в кузов», расширение использования существующего парка универсальных прицепов в межсезонный период.

Во втором разделе «Теоретические исследования технологии внесения твердых органических удобрений и дефеката с использованием прицепов-перегрузчиков» предложен вид перегрузочной технологии с использованием прицепов-перегрузчиков (патент № 2832329 РФ). Схема организации работ предполагает, что прицепы-перегрузчики загружаются у места хранения (накопления) материала, транспортируют его к разбрасывателям, работающим на поле, и перегружают материал непосредственно в разбрасыватели по принципу «из кузова в кузов». Разбрасыватели движутся челночным способом, перегрузка осуществляется на магистрально-поворотных полосах (рисунок 2).

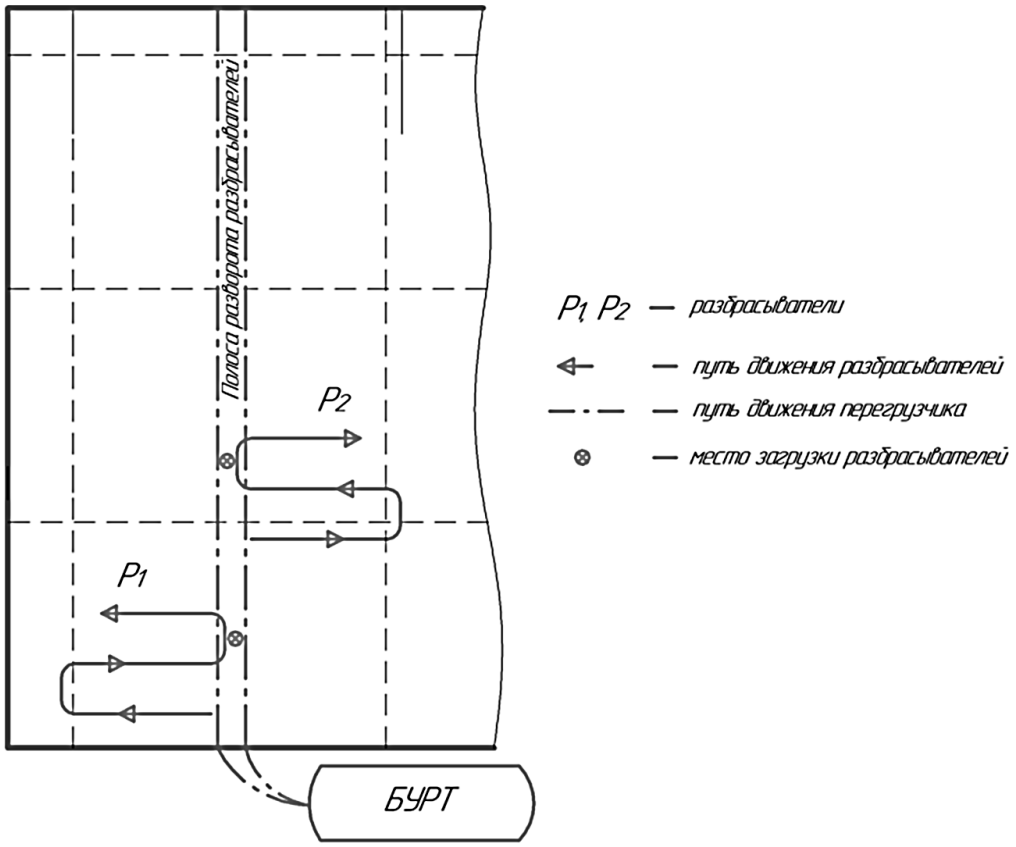


Рисунок 2 – Схема работы агрегатов на поле по предлагаемой технологии при внесении твердых органических удобрений и дефеката с применением прицепов-перегрузчиков

Получены аналитические зависимости для определения времени циклов разбрасывателя $t_{ц}^{р}$, прицепа-перегрузчика $t_{ц}^{пп}$ и погрузчика $t_{ц}^{п}$ с учетом простоев в ожидании друг друга.

$$t_{ц}^{р} = t_{п.р} + 2t_{пов90} + t_{пов180} + t_{р} + t_{маневр} + t_{ож}^{р-пп}; \quad (1)$$

$$t_{ц}^{пп} = t_{п.пп} + t_{д.г.} + nt_{п.р} + (n-1)t_{пер} + t_{х.х} + t_{ож}^{пп\text{-}р} + t_{оч}^{пп\text{-}п}; \quad (2)$$

$$t_{ц}^{п} = t_{п.пп} + t_{ож}^{п\text{-}пп} + t_{тех}^{п}, \quad (3)$$

где $t_{п.р}$ – время перегрузки, с; $t_{пов90}$ – время поворота на 90^0, с; $t_{пов180}$ – время разворота на 180^0, с; $t_{р}$ – время чистой работы разбрасывателя, с; $t_{маневр}$ – время на маневрирование разбрасывателя, с; $t_{ож}^{р-пп}$ – время ожидания разбрасывателем начала перегрузки и отъезда прицепа-перегрузчика, с; $t_{п.пп}$ – время погрузки материала в кузов прицепа-перегрузчика, с; $t_{д.г.}$ – время движения прицепа-перегрузчика с грузом к месту загрузки разбрасывателей, с; n – количество разбрасывателей, загружаемое одним прицепом-перегрузчиком, с; $t_{пер}$ – время переезда между местами перегрузки, с; $t_{х.х}$ – время холостого хода к месту погрузки, с; $t_{ож}^{пп-р}$ – время в ожидании разбрасывателя, с; $t_{оч}^{пп-п}$ – время ожидания в очереди при погрузке; $t_{ож}^{п-пп}$ – время ожидания погрузчика, с; $t_{тех}^{п}$ – технологическое время погрузчика, с.

Коэффициенты использования циклового времени смены для разбрасывателя $\tau_{р}^{ц}$, прицепа-перегрузчика $\tau_{пп}^{ц}$ и погрузчика $\tau_{п}^{ц}$ определяются как отношение времени выполнения основной функции к общему времени цикла.

$$\tau_{р}^{ц} = \frac{t_{ц}^{р}}{P_{от}^{р} - (2t_{пов90} + t_{пов180} + t_{р}) + t_{п.р} + 2t_{р} + t_{маневр}}; \quad (4)$$

$$\tau_{пп}^{ц} = \frac{t_{п.р}}{P_{от}^{р} + t_{д.г.} + t_{х.х.} + P_{от}^{п}}; \quad (5)$$

$$\tau_{п}^{ц} = \frac{t_{п.пп}}{t_{п.пп.} + P_{от}^{п} + t_{техн}^{п}}, \quad (6)$$

где $P_{от}^{р}$ – интервал поступления прицепов-перегрузчиков к разбрасывателю, с; $P_{от}^{п}$ – интервал поступления прицепов перегрузчиков под загрузку, с.

Перечисленные коэффициенты отражают долю времени, в течение которого машина выполняет свою основную технологическую функцию, и позволяют количественно оценить влияние взаимных простоев на производительность линии.

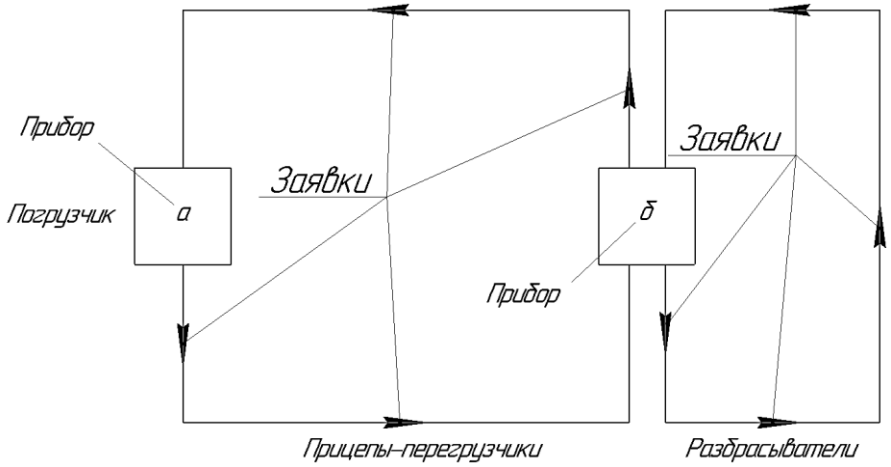
Заменяя время ожидания разбрасывателя и прицепа-перегрузчика на коэффициент использования циклового времени смены получим:

$$t_{ц}^{р} = \left(\frac{Q_{р}\gamma}{\omega_{пп}} + \frac{2L_{пов90}}{v_{пов}} + \frac{Q_{р}\gamma}{B_{р}d_{0}v_{р}} \right) \tau_{р}^{ц}; \quad (7)$$

$$t_{\text{ц}}^{\text{пп}} = \frac{Q_{\text{пп}}\gamma}{\omega_{\text{п}}} + \frac{L_{\text{тр}}}{v_{\text{дг}}} + \frac{L_{\text{тр}}}{v_{\text{хх}}} + n\frac{Q_{\text{пп}}\gamma}{\omega_{\text{п}}} + (n-1)\frac{L_{\text{пер}}}{v_{\text{пер}}} t_{\text{ц}}^{\text{р}} + t_{\text{ож}}^{\text{пп-р}} + t_{\text{оч}}^{\text{пп-п}}, \quad (8)$$

где $Q_{\text{р}}$, $Q_{\text{пп}}$ – грузоподъемности соответственно разбрасывателя и прицепа перегрузчика, кг; γ – коэффициент заполнения кузова; $L_{\text{пов90}}$, $L_{\text{пер}}$, $L_{\text{тр}}$ – пути соответственно поворота на 90^0, переезда между разбрасывателями и транспортировки вносимого материала, м; $\omega_{\text{пп}}$, $\omega_{\text{п}}$ – производительности соответственно выгрузного устройства прицепа-перегрузчика и погрузчика, кг/с; $v_{\text{пов}}$, $v_{\text{р}}$, $v_{\text{дг}}$, $v_{\text{хх}}$, $v_{\text{пер}}$ – соответственно скорости поворота, рабочая, движения с грузом, холостого хода и переезда между разбрасывателями, м/с; $B_{\text{р}}$ – рабочая ширина захвата, м; d_0 – доза внесения материала, кг/м^2.

Для определения вероятности нахождения машин в работе использован аппарат теории массового обслуживания. Производственная линия представлена как двухфазная замкнутая система (рисунок 3).



а – погрузчик (прибор), б – выгрузное устройство прицепа-перегрузчика (прибор), прицепы-перегрузчики и разбрасыватели (заявки)

Рисунок 3 – Двухфазная система замкнутого типа

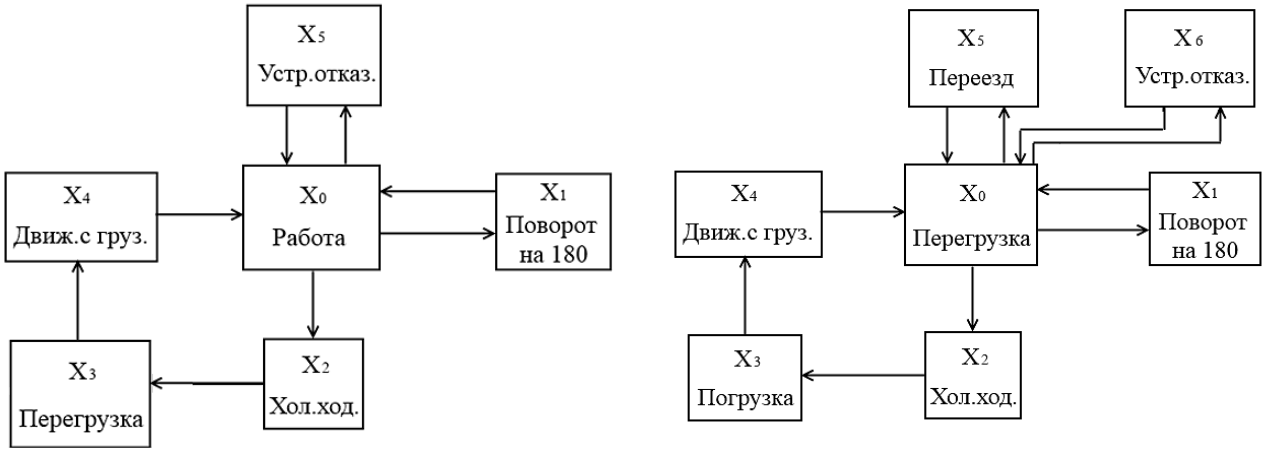
В первой фазе прицепы-перегрузчики являются заявками, а погрузчик – прибором; во второй фазе заявками выступают разбрасыватели и прицепы-перегрузчики, а выгрузное устройство – прибором. Для такого взаимодействия приборов и заявок будет присутствовать последствие, которое можно учесть применением имитационной модели производственной линии внесения твердых органических удобрений и дефеката. Также потребуется определить соответствие двум условиям применения теории массового обслуживания: стационарности и ординарности.

Для описания взаимодействия агрегатов разработаны алгоритмы изменения состояний разбрасывателя (рисунок 4а) и прицепа-перегрузчика (рисунок 4б). На основе этих алгоритмов определены вероятности нахождения агрегатов в состоянии работы. Вероятности нахождения прицепа-перегрузчика и разбрасывателя в состоянии работы будут равны:

$$P_0^{\text{р}} = \frac{1}{1 + \frac{B_{\text{р}} v_{\text{р}} d_0}{Q_{\text{р}}}\left(\frac{2L_{\text{пов180}} + 6L_{\text{пов90}}}{v_{\text{р}}} + \frac{Q_{\text{р}}}{\omega_{\text{пп}}}\right) + \frac{t_{\text{устр}}}{t_{\text{нн}}}}; \quad (9)$$

$$P_0^{\text{пп}} = \frac{1}{1 + \frac{\omega_{\text{пп}}}{Q_{\text{р}}}\left(\frac{2L_{\text{тр}} + L_{\text{пов180}}}{v_{\text{тр}}} + \frac{\omega_{\text{п}}}{Q_{\text{пп}}}\right) + \frac{t_{\text{устр}}}{t_{\text{нн}}}}, \quad (10)$$

где $L_{пов180}$ – длина разворота на 180^0, м; $t_{устр}$ – время устранения неисправности, с; $t_{нн}$ – нормативная наработка на отказ, с.



а) б)

Рисунок 4 – Алгоритмы изменения состояний разбрасывателя (а) и прицепа-перегрузчика (б)

Следующим этапом было аналитическое описание поставленной задачи с исследованием взаимодействия погрузочных, транспортно-перегрузочных и технологических агрегатов. Критерием эффективности при определении составов звеньев стали удельные затраты средств

$$U_{пр} = \frac{1}{\omega_л}\left(\frac{n_п E_ч^п}{\rho_п} + \frac{n_{пп} E_ч^{пп}}{\rho_{пп}} + \frac{n_р E_ч^р}{\rho_р}\right), \quad (11)$$

где $E_ч^п, E_ч^{пп}, E_ч^р$ – соответственно, затраты средств на погрузочные, транспортно-перегрузочные и технологические агрегаты, руб.; $n_п$, $n_{пп}$, $n_р$ – соответственно, количество погрузчиков, прицепов-перегрузчиков и разбрасывателей; $\omega_л$ – производительность линии внесения, т/ч; $\rho_п$, $\rho_{пп}$, $\rho_р$ – коэффициенты загрузки соответственно погрузчиков, прицепов-перегрузчиков и разбрасывателей.

Определение прямых затрат линии $U_{пр}$ предполагает вычисление коэффициентов $\rho_п$, $\rho_{пп}$, $\rho_р$, которые изменяются в зависимости от исходных параметров линии внесения, таких как количество погрузчиков, прицепов-перегрузчиков и разбрасывателей

$$\rho_{пп} = \rho_{пп}^п \rho_{пп}^р, \quad (12)$$

где $\rho_{пп}^п$ – коэффициент загрузки прицепа-перегрузчика в зависимости от нахождения в очереди на загрузку; $\rho_{пп}^р$ – коэффициент загрузки прицепа-перегрузчика в зависимости от нахождения в ожидании прибытия разбрасывателя под перегрузку.

Для определения вероятности свободного состояния погрузчика применяют функции биномиального распределения и табулированные зависимости. Среднее суммарное число прицепов-перегрузчиков, находящихся под загрузкой и в очереди у погрузчиков, определяют совместно – суммированием вероятностей соответствующих состояний с учетом числа заявок. Среднее время ожидания прицепа-перегрузчика в очереди на погрузку равно

$$t_{оч}^{пп} = \frac{1}{\lambda}\frac{P_{п+ож}^{пп}}{1 - P_{п+ож}^{пп}}, \quad (13)$$

где λ – интенсивность поступления прицепов-перегрузчиков под загрузку;

$P^{пп}_{п+ож}$ – вероятность простоя погрузчика в ожидании прицепов-перегрузчиков.

При этом среднее время простоя погрузчика будет равно

$$t^{п}_{ож} = \frac{1}{\mu_{п}} \frac{1 - P^{пп}_{п+ож}}{P^{пп}_{п+ож}}, \quad (14)$$

где $\mu_{п}$ – плотность потока обслуживания.

Таким образом, коэффициенты загрузки погрузчика и прицепа-перегрузчика будут зависимы друг от друга и определятся по следующим выражениям:

$$\rho_{п} = \frac{t^{ц}_{п}}{n_{пп}}; \quad (15)$$

$$\rho^{п}_{пп} = \frac{t^{ц}_{пп}}{t^{ц}_{пп} + t^{пп}_{оч}}. \quad (16)$$

При этом коэффициент загрузки разбрасывателей $\rho_{р}$ будет определяться следующим образом. Определим $\rho_{р}$ используя $\rho^{п}_{пп}$. Для этого найдем интенсивность поступления разбрасывателей под перегрузку

$$\mu = \frac{1}{t^{р}_{ц}}, \quad (17)$$

Интенсивность прибытия прицепов-перегрузчиков к разбрасывателям с учетом очереди на погрузку

$$\lambda^{пп}_{оч} = \frac{n_{пп} - \rho^{п}_{пп}}{t^{ц}_{пп\ без\ ож}}. \quad (18)$$

где $t^{ц}_{пп\ без\ ож}$ – время цикла прицепа-перегрузчика без учета ожидания, с.

При этом коэффициент загрузки разбрасывателей $\rho_{р}$ будет определяться следующим образом

$$\rho_{р} = \frac{\lambda^{пп}_{оч}}{\mu}. \quad (19)$$

Время ожидания прицепа-перегрузчика разбрасывателем будет равно

$$t^{р}_{ож} = \frac{1 - \rho_{р}}{\lambda^{пп}_{оч}}. \quad (20)$$

Учитывая, что $\rho_{р}$ не может быть выше 1, тогда при $\rho_{р} > 1$ нет ожидания прицепа-перегрузчика. Изменения указанных коэффициентов в зависимости от расстояния транспортировки показаны на графиках рисунка 5, из которых видно, что при увеличении расстояния транспортировки $L_{тр}$ коэффициенты загрузки $\rho^{п}_{пп}$ и $\rho^{р}_{пп}$ стремятся к единице, а $\rho_{р}$ – к нулю. При условии корреляции этих коэффициентов можно будет сказать, что они изменяются закономерно (под влиянием друг друга) и это соответствует двум условиям применения теории массового обслуживания, а именно ординарности и стационарности потока заявок.

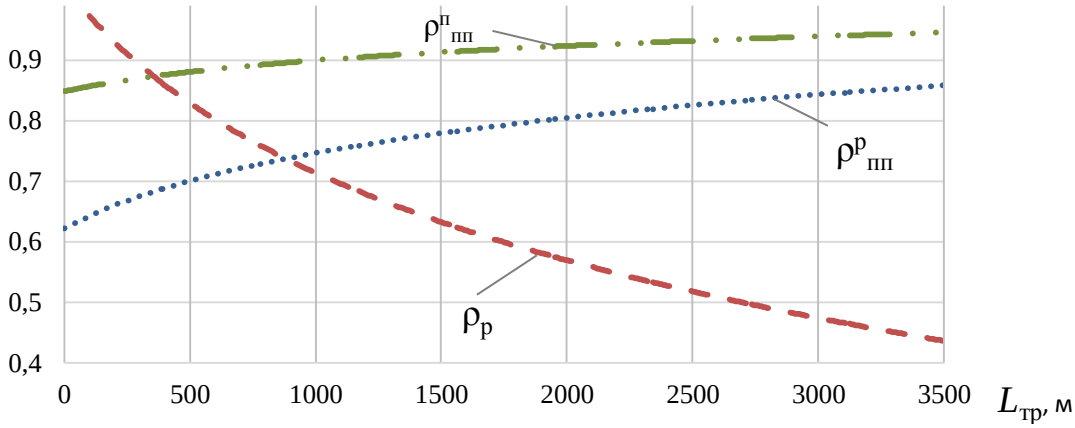


Рисунок 5 – Изменение коэффициентов загрузки агрегатов в зависимости от расстояния транспортировки вносимого материала

Расчетом рангового коэффициента корреляции Спирмена установлена сильная отрицательная корреляция между коэффициентами загрузки прицепов-перегрузчиков и разбрасывателей. Результаты расчетов подтверждают, что условия стационарности и ординарности потока заявок выполняются, что обосновывает возможность применения математического аппарата теории массового обслуживания для учета простоев в производственной линии с жесткой технологической связью.

Разработана методика определения рациональных параметров разбрасывателя и прицепа-перегрузчика по критерию – удельная цикловая производительность на единицу массы агрегата. Данный критерий позволяет учесть производительность машины и ее воздействие на почву, а также эффективность транспортировки вносимого материала в зависимости от грузоподъемности и массы:

$$\omega_{\text{р}}^{\text{уд}} = \frac{\omega_{\text{р}}^{\text{ц}}}{M_{\text{тр}} + M_{\text{р}}}; \tag{21}$$

$$\omega_{\text{пп}}^{\text{уд}} = \frac{\omega_{\text{пп}}^{\text{ц}}}{M_{\text{тр}} + M_{\text{пп}}}, \tag{22}$$

где $\omega_{\text{р}}^{\text{ц}}$ – цикловая производительность технологического агрегата, т/ч; $\omega_{\text{пп}}^{\text{ц}}$ – цикловая производительность транспортно-перегрузочного агрегата, т/ч; $M_{\text{тр}}$ – масса агрегатируемого трактора, кг; $M_{\text{р}}$ – масса разбрасывателя, кг; $M_{\text{пп}}$ – масса прицепа-перегрузчика, кг.

На основе статистического анализа установлены линейные зависимости между грузоподъемностью и массой разбрасывателей и прицепов-перегрузчиков:

$$M_{\text{р}} = kQ_{\text{р}} + n; \tag{23}$$

$$M_{\text{пп}} = abQ_{\text{пп}}, \tag{24}$$

где k, n, a, b – коэффициенты пропорциональности.

Для определения производительности выгрузного устройства разработана методика, учитывающая ограничения по мощности гидросистемы трактора и просыпаемости материала. Предложены графические зависимости для определения рациональной скорости транспортерной ленты и подачи материала (рисунки 6 и 7).

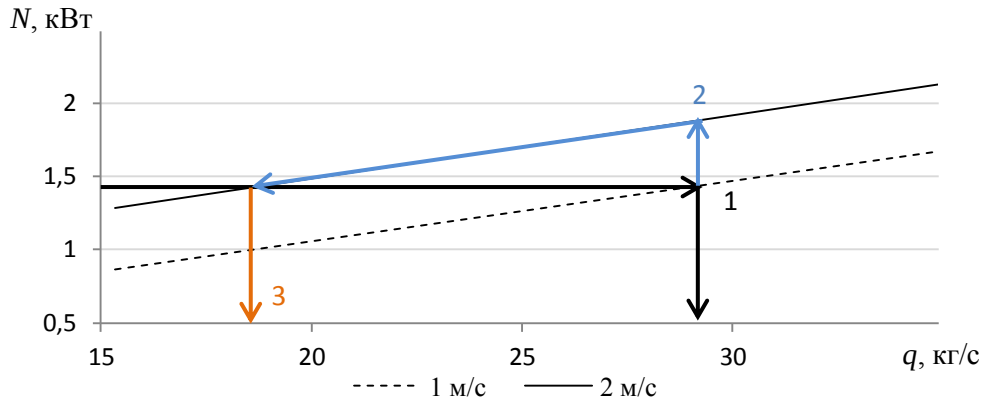


Рисунок 6 – Зависимость потребляемой мощности приводом транспортера N и скорости транспортерной ленты $v_{тр}$ при разной подаче материала q

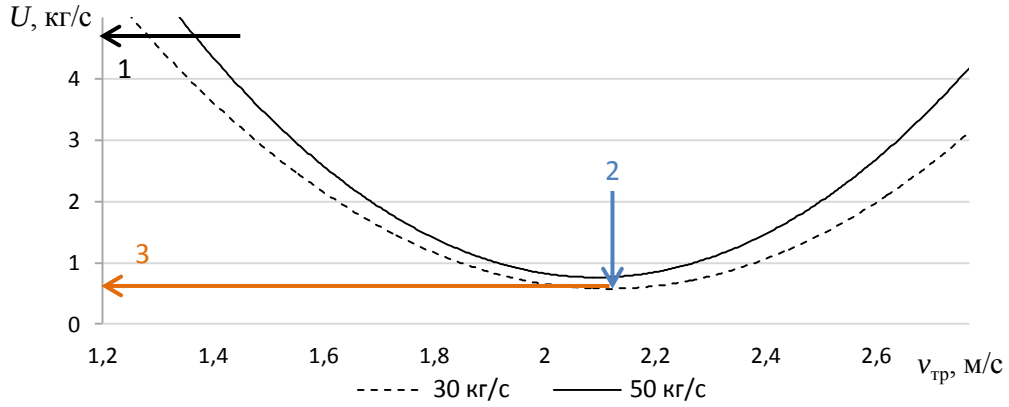


Рисунок 7 – Зависимость просыпаемости материала U от скорости транспортерной ленты $v_{тр}$ при разных подачах материала $q_{гр}$

По разработанным номограммам можно определить производительность выгрузного устройства прицепа-перегрузчика с учетом располагаемой мощности и физико-механических свойств перегружаемого материала.

В третьем разделе «Программа и методика проведения хронометражных наблюдений, экспериментальных исследований и имитационного моделирования» представлены: программа экспериментальных исследований, методики проведения хронометражных наблюдений, экспериментальных исследований и имитационного моделирования.

Хронометражные наблюдения проводились на базе сельскохозяйственных предприятий: АО «Хреновской конный завод», ООО «ЭкоНиваАгро – Восточное», АО «Павловская нива». Использовался метод видеорегистрации рабочего процесса с последующей обработкой видеозаписи. Определялось время выполнения элементов рабочего цикла разбрасывателей (загрузка, движение с грузом, повороты на 90° и 180°, рабочий ход, холостое движение) и погрузчиков.

Для изучения процесса перегрузки твердых органических удобрений и дефеката ленточным транспортером использовался метод физического моделирования на уменьшенном прототипе (перегрузчик Р6-КШП-6). Применение прототипа обосновано положениями теории подобия: геометрическое подобие обеспечивается отношением ширины ленты полноразмерного устройства к прототипу, кинематическое подобие – равенством скоростей движения ленты, а подобие начальных и граничных условий – идентичностью физико-механических свойств материалов (насыпная плотность 450…1100 кг/м³) и способа их подачи на ленту (вертикальное падение с образованием пульсирующего потока).

Имитационная модель производственной линии внесения разработана в программе AnyLogic Professional 8.9.0 с использованием агентного подхода. Интерфейс разработанной имитационной модели представлен на рисунке 8.

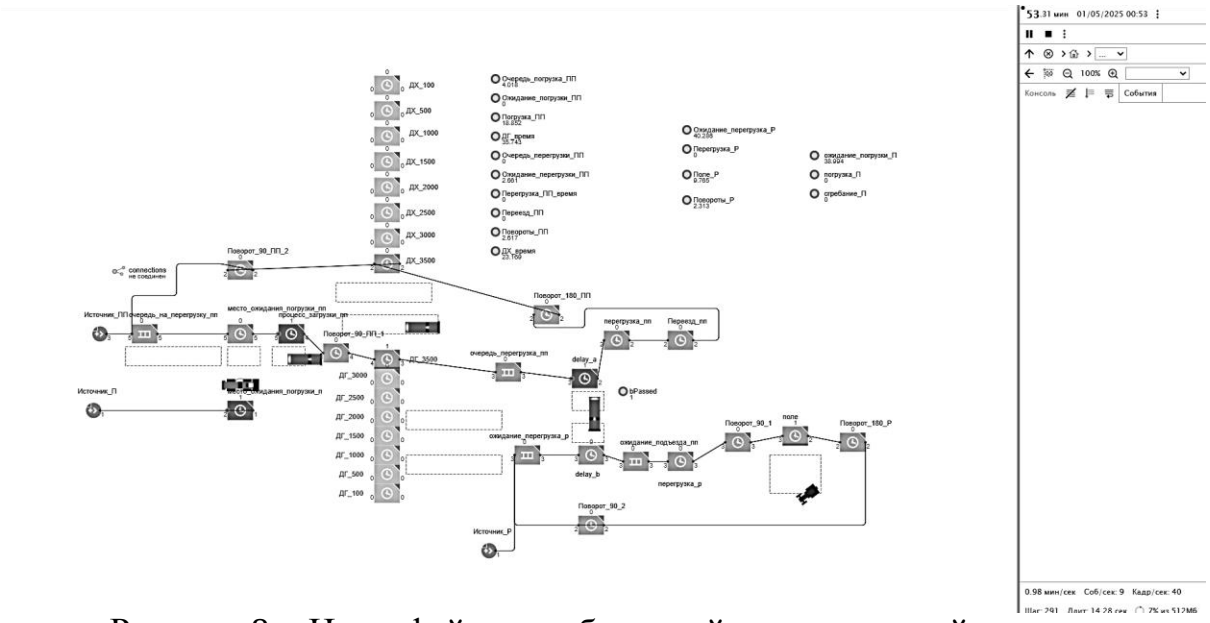


Рисунок 8 – Интерфейс разработанной имитационной модели производственной линии внесения

Модель позволяет учитывать стохастический характер времени выполнения операций и последействие простоев.

В четвертом разделе «Результаты хронометражных наблюдений, экспериментальных исследований и имитационного моделирования» представлены полученные результаты.

Экспериментальные исследования выгрузного устройства показали, что зависимость потребляемой мощности от секундной подачи и скорости ленты носит линейный характер. Просыпаемость материала имеет четко выраженный минимум при скорости ленты 2±0,2 м/с. При этой скорости просыпаемость составляет 0,1…0,6 кг/с.

Масштабирование результатов с прототипа на натурную конструкцию выполнено по методу геометрического подобия, что позволило определить производительность полноразмерного выгрузного устройства в диапазоне 820…875 т/ч, что в несколько раз превышает производительность фронтальных погрузчиков (таблица 1). Полученные зависимости энергозатрат и просыпаемости материала являются универсальными для данного класса машин и подтверждены удовлетворительной сходимостью расчетных и опытных данных.

Таблица 1 – Расчетная производительность выгрузного устройства (В.У.) при агрегатировании прицепа-перегрузчика с тракторами различной мощности двигателя и гидросистемы (Г.С.)

Модель трактора	Мощность двигателя, кВт	Мощность Г.С., кВт	Производительность В.У., т/ч
К-744Р2	250	38	875
БТЗ-253К	180	35	845
John Deere-8410	225	32	820

В результате хронометражных наблюдений установлено, что разброс времени выполнения операций составляет 20…35 % от среднего значения. Для выбора распределения, соответствующего хронометражным данным, проводилось сравнение треугольного распределения и распределения Эрланга по критерию Пирсона. Результаты сравнения на примере операции «Загрузка разбрасывателя» представлены на рисунке 9.

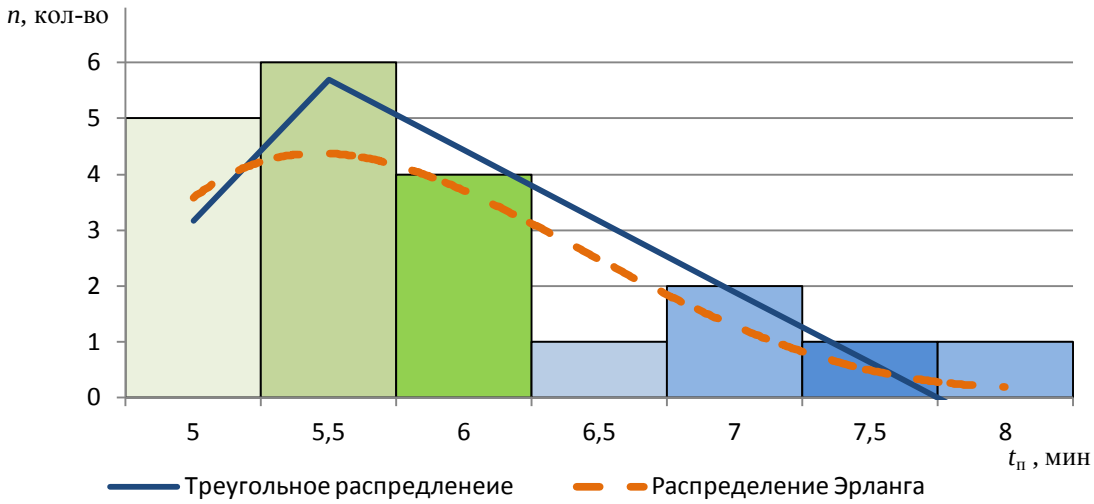


Рисунок 9 – Гистограмма наблюдаемых и теоретических распределений для операции «Загрузка разбрасывателя»

Оба распределения адекватно описывают полученные данные, но треугольное имеет меньшее значение χ^2 и предпочтительнее для использования в имитационной модели.

Расчетами рациональной грузоподъемности разбрасывателей установлено, что для агрегата с трактором Беларус-1523 рациональное значение грузоподъемности составляет 6,2…8,8 т в зависимости от дозы внесения (рисунок 10).

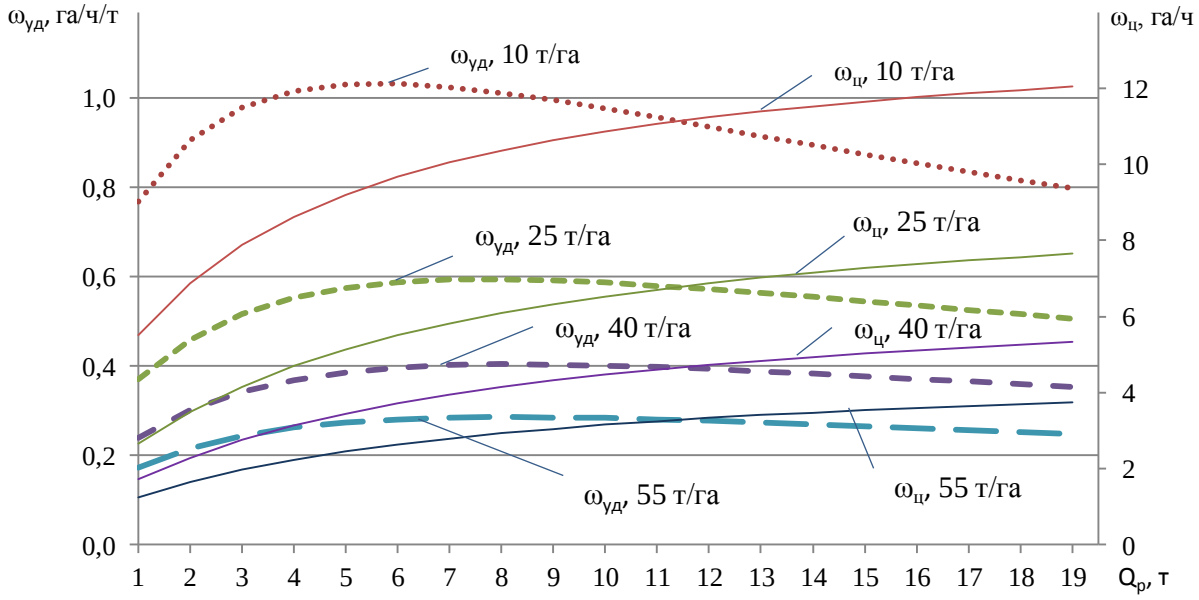


Рисунок 10 – Зависимости изменения удельной производительности $\omega_{уд}$ и цикловой производительности $\omega_ц$ от грузоподъемности разбрасывателя Q для разных доз внесения при агрегатировании с трактором Беларус-1523

На основании метода уступок рекомендована грузоподъемность 10 т, что обеспечивает повышение эксплуатационной производительности при незначительном снижении удельной производительности на единицу массы. Для прицепа-перегрузчика диапазон рациональной грузоподъемности находится в пределах от 20 т до 25 т.

Проверка адекватности имитационной модели показала, что расхождение результатов моделирования с данными хронометражных наблюдений не превышает 4,7 % (рисунки 11 и 12)

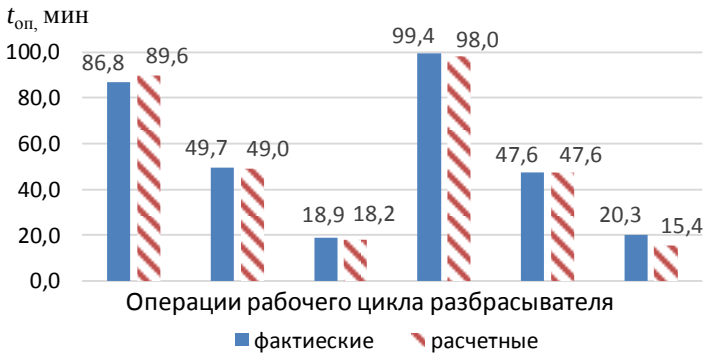


Рисунок 11 – Сравнение времени выполнения различных элементов цикла разбрасывателем в ходе имитационного моделирования и полученных во время обработки данных хронометражных наблюдений

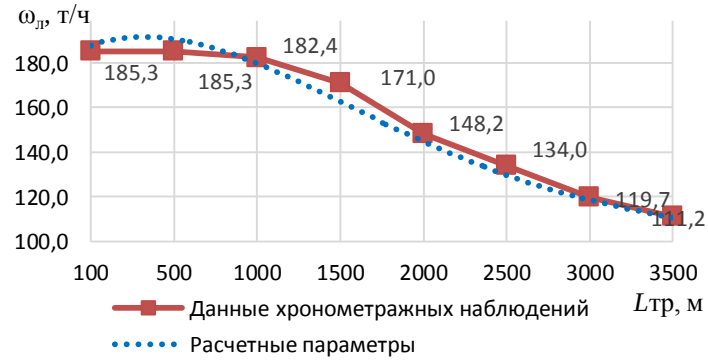


Рисунок 12 – Сравнение полученных данных по производительности линии внесения $\omega_л$ в ходе имитационного моделирования и при проведении хронометражных наблюдений в зависимости от расстояния транспортировки $L_{тр}$

Проверка по F-критерию Фишера подтвердила однородность дисперсий, проверка по t-критерию Стьюдента – отсутствие систематической ошибки.

Определены рациональные составы звеньев производственной линии (таблица 2).

Таблица 2 – Рациональные составы звеньев производственной линии внесения, применяемых по перегрузочной технологии в зависимости от дозы внесения и грузоподъемности разбрасывателей

Доза внесения, т/га	Грузоподъемность разбрасывателей, т		
	10	15	20
10	3 р и 3 пп (30 т)	2 р и 2 пп (30 т)	2 р и 2 пп (40 т)
25	3 р и 3 пп (30 т)	2 р и 2 пп (30 т)	2 р и 3 пп (30 т)
40	2 р и 3 пп (20 т)	2 р и 3 пп (30 т)	2 р и 3 пп (40 т)
55	2 р и 3 пп (20 т)	2 р и 2 пп (40 т)	1 р и 2 пп (40 т)
Примечание: р – разбрасыватель; пп – прицеп-перегрузчик			

Для дозы внесения 10 т/га и разбрасывателей грузоподъемностью 10 т рациональным является состав: 3 разбрасывателя + 3 прицепа-перегрузчика 30 т. Для дозы 25 т/га и разбрасывателей 15 т – 2 разбрасывателя + 3 прицепа-перегрузчика 30 т. Для доз 40 и 55 т/га предпочтительнее разбрасыватели грузоподъемностью 15 т с соответствующим количеством прицепов-перегрузчиков.

Сравнение с прямоточной и перевалочной технологиями показало, что предлагаемый вид перегрузочной технологии обеспечивает снижение удельных затрат средств на 15…18 % и повышение производительности до 20 % при расстояниях транспортировки от 300 до 2200 м (таблица 3).

Таблица 3 – Рациональное расстояние применения перегрузочной технологии для выбранных составов звеньев в зависимости от дозы внесения и грузоподъемности разбрасывателей

Доза внесения, т/га	Рациональное расстояние применения при грузоподъемности разбрасывателей, т		
	10	15	20
10	500…2300	1100…2200	1350…2150
25	600...2350	300…1750	400…1650
40	200…1800	250…1550	450…1450
55	100…1600	100…1250	180…1100

В пятом разделе «Экономическая оценка внедрения предлагаемого вида перегрузочной технологии» выполнен расчет экономической эффективности.

При внесении материала дозой 10 т/га и среднем расстоянии транспортировки 1500 м применение перегрузочной технологии вместо прямоточной позволяет получить экономию эксплуатационных затрат 253 руб/га. Годовой экономический эффект при нормативной годовой загрузке 350 ч/год составляет 1540775 руб. при этом срок окупаемости будет – 1,47 года, что значительно меньше нормативного срока службы техники (8 лет). Удельная металлоемкость линии (масса агрегатов производственной линии на один обработанный гектар) с применением перегрузочной технологии составляет 9,2 кг/га против 10,9 кг/га для линии из трех разбрасывателей, что свидетельствует о снижении нагрузки на почву.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Обзор и анализ научных работ, посвященных совершенствованию технологий и технических средств внесения твердых органических удобрений и дефеката, показал, что наиболее перспективным является вариант перегрузочной технологии с применением прицепов-перегрузчиков. Использование прицепов-перегрузчиков, позволяющих объединить положительные стороны разных видов перегрузочной технологии и тем самым повысить производительность линии внесения и уменьшить удельные затраты на внесение твердых органических удобрений и дефеката, не исследовалось. Отсутствуют аналитические зависимости для определения параметров технических средств и производственной линии внесения с применением прицепов-перегрузчиков, не изучены способы движения распределяющих и транспортно-перегрузочных агрегатов, обеспечивающие наибольшую эффективность работы производственной линии внесения с использованием прицепов-перегрузчиков. Это обуславливает необходимость разработки методики определения рациональных параметров комплекса машин для внесения твердых органических удобрений и дефеката по перегрузочной технологии.

2. В основу предложенного вида перегрузочной технологии внесения твердых органических удобрений и дефеката положен способ внесения твердых органических удобрений и мелиорантов (патент № 2832329 РФ). Использование указанного способа обеспечивает повышение производительности основных технологических агрегатов – разбрасывателей.

3. Выполненные теоретические исследования влияния состава звеньев в предлагаемом виде перегрузочной технологии на производительность линии внесения твердых органических удобрений и дефеката показывают, что про-

стейший состав (один разбрасыватель, один прицеп-перегрузчик) мало эффективен из-за высокой продолжительности ожидания прибытия перегрузчика. Увеличение количества прицепов-перегрузчиков в транспортно-перегрузочном звене снижает простои разбрасывателя, но повышает вероятность простоев прицепов-перегрузчиков. При сбалансированном составе производственной линии внесения у предлагаемого вида перегрузочной технологии присутствует рациональное расстояние транспортировки, характеризующееся наименьшими взаимными простоями разбрасывателей и прицепов-перегрузчиков в ожидании начала перегрузки, также этим условиям соответствуют наименьшие удельные затраты и наибольшая производительность линии внесения. Рациональное расстояние транспортировки при прочих равных параметрах зависит от количества прицепов-перегрузчиков. Относительно рационального расстояния устанавливается диапазон расстояний применения предлагаемого вида перегрузочной технологии.

4. Установить время ожидания машин при условии их сложного взаимодействия и взаимного влияния простоев друг на друга позволяет применение теории массового обслуживания. Определить показатели линии внесения и соответственно рациональный диапазон применения конкретного состава такой линии, применяемого по предлагаемому виду перегрузочной технологии, дают возможность коэффициенты загрузки для погрузчиков, прицепов-перегрузчиков и разбрасывателей.

5. Рациональная грузоподъемность разбрасывателя устанавливается по максимальной удельной цикловой производительности на единицу эксплуатационной массы агрегата. Для прицепа-перегрузчика как транспортного средства рациональная грузоподъемность определяется по удельной производительности, а как технологического средства обосновывается по минимально необходимой грузоподъемности, исключающей простои разбрасывателей, при этом грузоподъемность прицепа-перегрузчика должна быть кратной грузоподъемности разбрасывателя. Производительность выгрузного устройства прицепа-перегрузчика зависит от мощности гидросистемы агрегатируемого трактора, скорости ленты и угла наклона транспортера, а также подачи материала.

6. Реализация разработанной имитационной модели линии внесения твердых органических удобрений и дефеката посредством специально разработанной компьютерной программы (свидетельство № 2026616020 РФ) позволяет по совокупности параметров выбрать рациональные составы звеньев линии внесения по предлагаемому виду перегрузочной технологии, которые обеспечивают наименьшие удельные затраты по сравнению как с другими видами перегрузочной технологии, так и с аналогичными составами, применяемыми по прямоточной и перевалочной технологиям. Результаты моделирования показали, что использование предлагаемого вида перегрузочной технологии обеспечивает снижение удельных затрат (до 15 %) при расстоянии транспортировки от 300 до 2500 м при сохранении высокой производительности и низких удельных затрат труда, что объясняется наименьшими простоями технических средств. Адекватность предложенной имитационной модели подтверждена сравнением результатов моделирования с данными, полученными посредством хронометражных наблюдений при внесении твердых органических удобрений на сельхозпредприятиях АО «Хреновской конный завод», ООО «ЭкоНиваАгро-Восточное» и АО «Павловская нива».

7. Использование предлагаемого вида перегрузочной технологии на внесении материала дозой 10 т/га обеспечивает экономию эксплуатационных за-

трат 253 руб./га, при этом годовой экономический эффект в расчете на один агрегат при его загрузке 350 ч/год составит 1 540 775 руб. Инвестиции, вложенные в переоборудование трех прицепов грузоподъемностью 30 т, при внесении с дозой 10 т/га окупятся через 1,47 года. Если применять прицепы-перегрузчики в специализированных организациях с высокой годовой загрузкой можно значительно снизить сроки окупаемости и при больших дозах внесения.

8. Сельхозпроизводителям рекомендуется применение предлагаемого вида перегрузочной технологии (патент № 2832329 РФ) для внесения твердых органических удобрений и дефеката. При реализации предложенного вида перегрузочной технологии целесообразно эксплуатировать выгрузное устройство прицепа-перегрузчика со скоростью ленты 2,0 ± 0,2 м/с. Рекомендуемые модели агрегатируемых тракторов: для 20-тонного прицепа-перегрузчика БТЗ-245К, для 30-тонного – John Deere 8410, для 40-тонного – К-744Р2. При внесении материала малыми дозами (10 и 25 т/га) для снижения затрат следует применять разбрасыватели грузоподъемностью 10 т, а при больших дозах внесения (40 и 55 т/га) – 15 т, при всех дозах грузоподъемность прицепов-перегрузчиков – 30 т. Изготовителям прицепов-перегрузчиков для повышения эффективности линии внесения рекомендуется увеличить высоту скребка (планки) на транспортере, что позволит повысить производительность выгрузного устройства, а также увеличит эффективность использования мощности, передаваемой на транспортер.

9. Перспективы дальнейшей разработки темы: собрать и обработать данные по отказам разбрасывателей и прицепов-перегрузчиков, и на основе этого усовершенствовать имитационную модель линии внесения твердых органических удобрений и дефеката.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ СОИСКАТЕЛЕМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в Российских журналах, включенных в перечень ВАК

1. Барыкин К.В. Теоретические исследования взаимных простоев погрузочных, транспортно-перегрузочных и технологических машин при внесении твердых органических удобрений и дефеката по перегрузочной технологии / К.В. Барыкин, Н.П. Колесников, А.П. Дьячков // Вестник НГИЭИ. – 2025. – № 6(169). – С. 7–18.

2. Барыкин К.В. Методика и результаты экспериментальных исследований рабочих параметров прицепа-перегрузчика с использованием прототипа выгрузного устройства / К.В. Барыкин, Н.П. Колесников // Вестник НГИЭИ. – 2026. – № 3(178). – С. 19–30.

3. Дьячков А.П. Определение оптимальной грузоподъемности прицепа-перегрузчика дефеката / А.П. Дьячков, Н.П. Колесников, К.В. Барыкин // Вестник НГИЭИ. – 2024. – № 7(158). – С. 18–27.

Патент на изобретение

4. Патент № 2832329 РФ, МПК A 01 C 3/04. Способ внесения твердых органических удобрений и мелиорантов / А.П. Дьячков, Н.П. Колесников, К.В. Барыкин; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – № 2023124545; заявл. 25.09.2023; опубл. 23.12.2024, бюл. № 36. – 7 с.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026616020 РФ. Имитационная модель производственной линии внесения твердых органических удобрений с применением прицепов-перегрузчиков / К.В. Барыкин, Н.П. Колесников; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. – Заявл. 04.03.2026, зарегистрировано 04.03.2026, бюл. № 3.

Статьи в материалах конференций

6. Барыкин К.В. Анализ способов движения распределительных и транспортно-перегрузочных агрегатов при перегрузочной технологии / К.В. Барыкин, А.П. Дьячков, Н.П. Колесников // Тенденции развития технических средств и технологий в АПК: материалы международной научно-практической конференции; г. Воронеж, 29 января 2026 г. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2026. – С. 249–254.

7. Барыкин К.В. Методика определения вероятности нахождения транспортно-перегрузочных и технологических агрегатов в состоянии работы для определения рационального состава линии внесения / К.В. Барыкин, Н.П. Колесников // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: материалы международной научно-практической конференции; г. Воронеж, 20 июня 2025 г. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2025. – С. 132–137.

8. Исследование процесса внесения твердых органических удобрений и мелиорантов путем хронометражных наблюдений / К.В. Барыкин, А.П. Дьячков, Н.П. Колесников, С.С. Мешкова // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения для АПК: материалы международной научно-практической конференции; г. Воронеж, 31 октября 2025 г. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2025. – С. 140–146.

9. Барыкин К.В. К расчету производительности выгрузного устройства прицепа-перегрузчика в зависимости от мощности гидросистемы агрегатируемого трактора / К.В. Барыкин, Н.П. Колесников // Проблемы ресурсообеспеченности и перспективы развития агропромышленного комплекса: материалы международной научно-практической конференции; г. Воронеж, 26 сентября 2025 г. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2025. – С. 166–170.

10. Барыкин К.В. Методика определения рационального состава основного и транспортного звена при внесении твердых органических удобрений и дефеката с применением универсальных прицепов-перегрузчиков / К.В. Барыкин // Константиновские чтения: сборник научных трудов III международной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников; г. Кинель, 19 февраля 2025 г. – Кинель: ФГБОУ ВО Самарский ГАУ, 2025. – С. 193–197.

Просим принять участие в работе диссертационного совета 35.2.008.01 или выслать Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 13, ученому секретарю Афоничеву Д.Н. Телефон: (473)224-39-39; e-mail: et@agroeng.vsau.ru.

Подписано в печать 16.10.2026 г. Формат 60х84 $^{1}/_{16}$. Бумага кн.-журн.
П.л. 1,0. Гарнитура Таймс. Тираж 100 экз. Заказ № 29116.
Типография ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ 394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1.