

На правах рукописи

Блинов Филипп Леонидович

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ
КРОТОДРЕНИРУЮЩЕГО РАБОЧЕГО ОРГАНА ПРИ ОСВОЕНИИ
ЗАЛЕЖИ**

Специальность: 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для
агропромышленного комплекса

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тверь – 2024

Работа выполнена на кафедре технологических и транспортных машин и комплексов ФГБОУ ВО Тверская ГСХА

Научный руководитель: **Кудрявцев Андрей Васильевич**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологических и транспортных машин и комплексов ФГБОУ ВО Тверская ГСХА

Официальные оппоненты: **Камбулов Сергей Иванович**, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник отдела механизации растениеводства ФГБНУ «АНЦ «Донской»

Ружьев Вячеслав Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, декан инженерно-технологического факультета, заведующий кафедрой технических систем в агробизнесе ФГБОУ ВО СПбГАУ

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

Защита состоится «23» мая 2024 года в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 35.2.030.03 на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19, тел.: 8 (499) 976-17-14.

Юридический адрес для отправки почтовой корреспонденции (отзывов): 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке имени Н. И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» и на сайте Университета www.timacad.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук

_____ Н. Н. Пуляев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В современных условиях развития сельскохозяйственного производства требуется возврат в сельскохозяйственный севооборот более 59 % залежных земель, применительно к Российской Федерации в целом и в частности для Тверской области не менее 50 % – 42,3 тыс. га.

В условиях переувлажнённых участков, применение машинных технологий культуртехнической мелиорации, направленной на первичную глубокую обработку путём кротодренирования, позволяет улучшить водно-воздушный режим почвы. Обеспечение оптимальных условий в почвенном слое позволит не только сместить агросроки посева сельскохозяйственных культур, но и снизить энергоёмкость технологических процессов при последующей подготовке почвы в осенний и весенний периоды.

В связи с этим научные исследования направлены на обоснование технологических аспектов при глубокой обработке почвенного и подпочвенного слоев, рекомендации по выбору параметров и режимов работы кротодренирующих рабочих органов, оценку качества и энергетических показателей выполнения технологического процесса, является актуальной, научно обоснованной темой.

Работа выполнена в рамках комплексной Федеральной программы «Мелиорируемые земли на 2022-2031 годы» (Постановление правительства РФ от 14 мая 2021 года № 731 «О Государственной программе эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации»), научно-исследовательской, опытно-конструкторской и технологической работы гражданского назначения в рамках грантовой поддержки по программе «УМНИК-2021» Фонда содействия инновациям, а также программами НИР ФГБОУ ВО Тверская ГСХА.

Степень разработанности темы исследования. Теоретические аспекты проработки вопросов, раскрывающих взаимодействие рабочих органов с почвогрунтом, заложены основоположником земледельческой механики, профессором В. П. Горячкиным. Дальнейшее развитие получили в работах Желиговского В.А., Клёнина Н.И., Левшина А.Г., Казакова В.С., Резника Н.Е. и других учёных. В работах представлены основополагающие исследования теоретического и практического плана по обоснованию основных параметров рабочих органов для почвообработки, однако не в полной мере затронуты вопросы первичной, глубокой обработки, в том числе на глубине ниже расположения плужной подошвы, являющейся негативным фактором при создании оптимальных почвенных условий.

Непосредственное обоснование основных форм, параметров и режимов работы орудий для культуртехнической мелиорации в слое на глубине не более 50 см отражено в работах Токушева Ж.Е., Путрина С.А., Беленкова А.И., Камбулова С.И., Корсака В.В., Иванова А.И. и др.

Вместе с тем, выполненный анализ позволил установить, что научно обоснованное использование технологической операции первичной обработки в виде кротодренирования позволяет улучшить водно-воздушный режим почвогрунта, что в условиях ввода залежи позволяет повысить урожайность возделываемых сельскохозяйственных культур не менее 20...25 %.

Цель исследования – обоснование параметров и режимов работы кротодренирующего рабочего органа при освоении залежи.

Задачами исследований являются:

1. Обосновать применение кротодренирования для улучшения свойств подпахотного горизонта для возделывания сельскохозяйственных культур при освоении залежи.

2. Разработать математическую модель определения конструктивных параметров кротодренирующего рабочего органа при первичной глубокой обработке почвогрунта.

3. Определить энергетические показатели кротодренирующего рабочего органа при освоения залежи.

4. Подтвердить в лабораторно-полевых условиях рациональные параметры и режимы работы кротодренирующего рабочего органа для первичной подготовки почвы при освоении залежи по энергоемкости технологического процесса и ФМТС почвогрунта.

5. Испытать разработанный и изготовленный кротодренирующий рабочий орган при возделывании сельскохозяйственной культуры.

6. Оценить технико-экономическую эффективность предложенного агрегата для первичной обработки почвы.

Объекты исследования. Почвогрунт, кротодренирующие рабочие органы для первичной обработки почвы.

Предмет исследования. Теоретические и экспериментальные зависимости параметров и режимов работы кротодренирующего рабочего органа, влияющих на степень изменения основных физико-механических и технологических свойств (ФТМС) почвогрунта, а также энергетические характеристики кротодренирующего рабочего органа.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- определена степень изменения физико-механических и технологических свойств почвы на глубине до 0,6 м под действием кротодренирующего рабочего органа;

- изучен и описан технологический процесс функционирования кротодренирующего рабочего органа, обеспечивающего создание рационального состояния вводимой залежи, позволяющего составить модель взаимосвязи параметров и режимов работы кротодренирующего рабочего органа с обрабатываемой средой. Получены регрессионные уравнения зависимости параметров и режимов работы кротодренирующего рабочего органа.

Новизна технического решения подтверждена патентом на полезную модель РФ № 215380.

Теоретическая значимость работы заключается в теоретическом обосновании технологических режимов работы кротодренирующего рабочего органа на переувлажнённых почвах; определении рациональной конструкции рабочего органа, с учётом ФМТС почвогрунта, в зависимости от осваиваемой залежи.

Практическая значимость подтверждается полученными экспериментальными и производственными результатами оценки изменения ФМТС почвогрунта от влияния различных параметров и режимов работы кротодренирующего рабочего органа. Обоснованные параметры и режимы работы кротодренирующего рабочего органа позволили обеспечить оптимальный водно-воздушный режим почвогрунта путем создания кротодрен с разуплотненной околodrенирующей зоной.

Методология и методы исследования. В работе используется анализ и системный подход исследований, заключающийся в теоретическом исследовании, обобщении полученных ранее модельных и лабораторно-полевых исследований с применением программных продуктов и требований к выполнению экспериментальных исследований методами математического и статистического анализа.

Основные положения, выносимые на защиту:

- обоснование параметров и режимов работы кротодренирующего рабочего органа, с учётом ФМТС осваиваемой залежи;
- степень изменения энергетических показателей технологической операции глубокой обработки почвогрунта;
- зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от параметров и режимов работы кротодренирующего рабочего органа;
- технико-экономическая оценка эффективности технологической операции кротодренирования при освоении залежи.

Степень достоверности и апробация результатов исследования. Достоверность подтверждается использованием современного приборного и

программного обеспечения и методик. Погрешность измерений в условиях лабораторных экспериментов и полевого опыта составляет не более 5 %.

По результатам, полученным при выполнении исследований, проведены испытания в условиях сельскохозяйственного производства на предприятии ООО «Грин Фьюлз» и на производственных участках ФГБОУ ВО Тверская ГСХА.

Публикации результатов исследований. Результаты диссертационного исследования и практические рекомендации производству опубликованы в 25 работах, в том числе 3 в ведущих рецензируемых научных журналах из перечня, рекомендованного ВАК Минобрнауки РФ, в 2 патентах РФ, 18 статьях других изданий и в 2 учебных пособиях, технологические и конструкторские решения представлены в патенте на полезную модель.

Структура и объём работы. Диссертация изложена на 147 страницах, состоит из введения, основной части, содержащей 44 рисунка, 12 таблиц, заключения, списка используемых источников, включающего 141 наименование, в том числе 7 – на иностранном языке и 11 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первом разделе «Состояние вопроса, цель и задачи исследований» рассмотрено общее статистическое состояние земельного фонда Нечерноземной зоны РФ, в частности Тверской области. Установлено, что доля неиспользуемых земель, выбывших из оборота, составляет более 50 %. В связи с чем были рассмотрены технологии освоения залежи и восстановления почвенных агрономически ценных характеристик, в том числе и виды мелиоративных мероприятий, как отдельные элементы, так в совокупности системы, в зависимости от решаемой проблемы. Острыми вопросами являются нарушение водно-воздушного режима, сохранение естественного сложения почвогрунтового профиля, наличие переуплотненных слоев, нарушающих функционирование почвенного насоса, высокая плотность, и, следовательно, твердость почвы, превышающая оптимальные пределы для произрастания сельскохозяйственных культур. Допустимы показатели плотности для зерновых и лубяных культур установлены в пределах $1,1 \dots 1,4 \text{ г/см}^3$, твердости $0,68 \dots 1,1 \text{ МПа}$, влажности $30 \dots 70 \%$ от наименьшей влагоемкости.

Анализ научно-технической и патентно-лицензионной литературы в решении данного вопроса, установил. Серийно выпускаемые машины, и разработки защищенные патентами РФ не соответствуют в полной мере выполнять агротехнические требования технологической операции. Установлено, что кротовый дренаж, как прием глубокой обработки почвогрунта до одного метра, благотворно влияет на почвенное плодородие, физико-механические и технологические характеристики почвогрунта, как

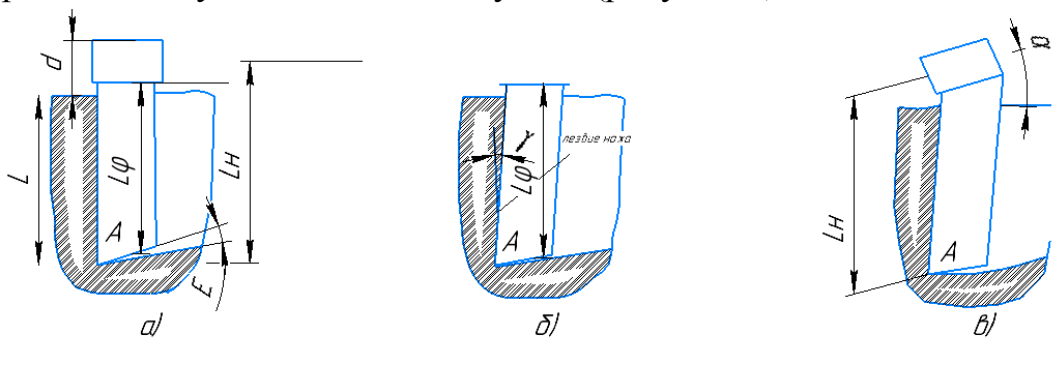
элемент безотвальной технологии. Однако, в практике применяется редко, так как большинство хозяйств идут по пути интенсификации производства растениеводческой продукции, что в перспективе, на основе уже имеющихся исследований, приводит к снижению коэффициента почвенного плодородия.

В итоге, определено направление исследований, связанное с разработкой технического решения, обоснованием его конструктивных параметров и режимов работы в условиях Нечерноземной зоны РФ, сформулирована цель и поставлены задачи.

Во втором разделе «Теоретические исследования» представлены результаты исследований технологической применимости, математическое моделирование технологического процесса, обоснованию параметров и режимов работы кротодренирующего рабочего органа, определение энергетических показателей кротодренирующего рабочего органа в условиях освоения залежи, оказывающих положительное влияние на ФМТС почвогрунта.

Исследованная модель упруго-вязкопластической среды позволяет теоретически определить напряженно-деформированное состояние почвогрунта при воздействии кротодренирующего рабочего органа. Установление типа рабочего органа подразумевает теоретическое рассмотрение элементов конструкции рабочего органа.

Длину луча кротодренажного рабочего органа L_H примем расстояние от оси вращения до удалённой точки луча А (рисунок 1).



а – луч перпендикулярен оси вращения; б – луч отклонён на угол γ ; в – ось вращения наклонена на угол α к горизонтальной плоскости.

Рисунок 1 – Схема для определения длины луча кротодренирующего рабочего органа

Как видно из рисунка 4, длина луча должна быть соотнесена с предельно допустимой глубиной обработки почвогрунта и формированием кротодрены. Следовательно, можно выразить зависимость

$$L_H = \frac{d_{з\partial}}{2} + h + c = L_\phi + d, \text{ мм.} \quad (1)$$

При определении проекций площади лучей кротодренирующего рабочего органа следует определить значение угла между лучами, а также плоскостью, на которую проецируются. Вместе с тем, очевидно, что значение вышеуказанных углов переменные в различных точках траектории движения рабочего органа, поскольку ось рабочего органа отклонена на угол, относительно оси перемещения передней точки к горизонту под некоторым углом α . Определение значений данных углов следует начинать с анализа схемы, представленной на рисунке 2.

Полученное значение заглубленного участка сформированной дрены, подставляя в формулу для определения результирующей по оси OX от силы сопротивления, окончательно сформулируем зависимость в виде

$$R_x = \left(p \cdot L_n \cdot \cos \left(\gamma + \alpha \cdot \left| \frac{\varphi + \varphi_0 - \pi/2}{\pi} \right| \right) \cdot \sin(\varphi_0 + \varphi) - c \right) \cdot v \cdot \sin(\alpha + \beta) \cdot \cos \left(\gamma + \alpha \cdot \left| \frac{\varphi + \varphi_0 - \pi/2}{\pi} \right| \right), \text{ Н. (2)}$$

Представленное выражение для определения тягового сопротивления возможно для использования в расчётах лишь однородной среды, как например, для глубины в диапазоне от 200 до 450 мм. Для неоднородного материала, когда сила сопротивления будет зависеть от значительного количества факторов, среди которых тип и ФМТС почвогрунта (рисунок 3).

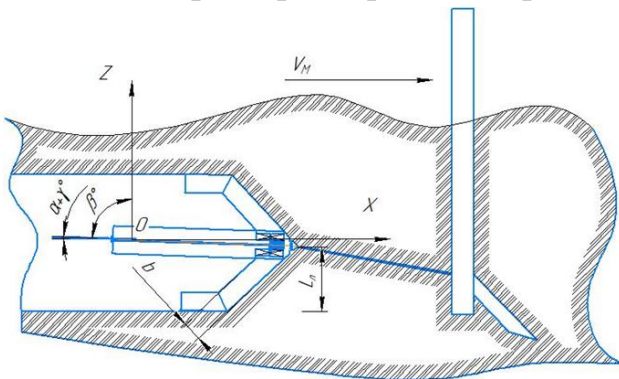


Рисунок 2 – Схема фактической деформации почвы с учётом отклонения от прямолинейной траектории кротодренирующего рабочего органа

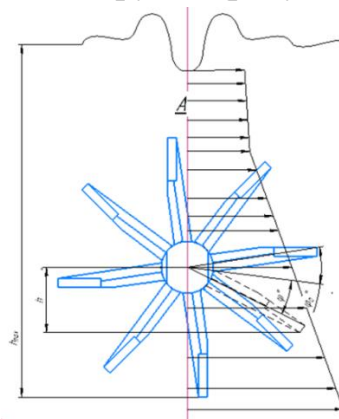
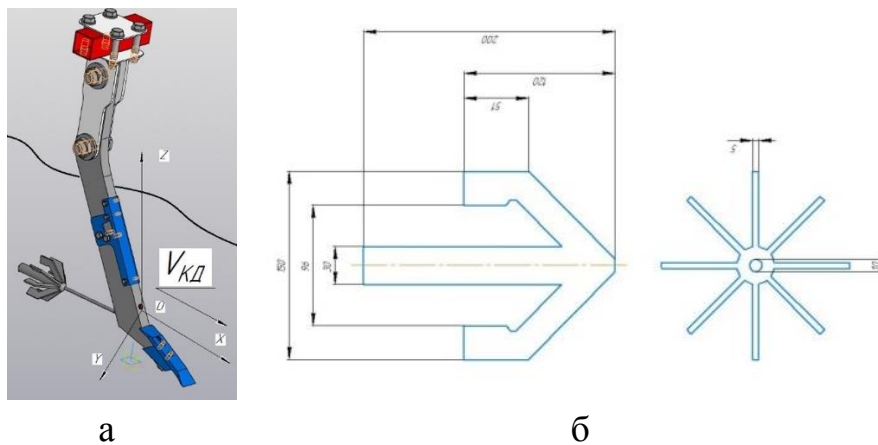


Рисунок 3 – Примерный характер изменения удельной нагрузки при различной глубине обработки

Движение характерной точки «А» рабочей поверхности кротодренирующего рабочего органа осуществляется в пространстве в декартовых координатах, относительно осей OX, OY и OZ. Относительно исходного состояния перемещение точки «А» поверхности рабочего органа в направлении оси OX, совпадающей с направлением движения машины, можно определить на основании схемы, отражённой на рисунке 4.



а – схема для рассмотрения кинематики, б – схема модели кротодренирующего рабочего органа (патент на полезную модель №215380 от 22.12.2022 г.);

Рисунок 4 – Схема к рассмотрению кинематики движения

Абсолютная скорость движения характерной точки «А» рабочего органа определится как сумма значений скоростей по выражению

$$V_A = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} = \sqrt{V_n^2 + r_{36}^2 \cdot \omega^2 \cdot (\sin^2 \alpha \cdot \cos^2(\omega \cdot t + \varphi_0) + \sin^2(\omega \cdot t + \varphi_0) + \cos^2 \alpha \cdot \cos^2(\omega \cdot t + \varphi_0))}, \text{ м/с} \quad (3)$$

Значение абсолютного ускорения характерной точки «А» можно определить из выражения

$$a_{abc} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} = r_{36} \cdot \omega^2 \cdot \sqrt{\sin^2 \alpha \cdot \sin^2(\omega \cdot t + \varphi_0) + \cos^2(\omega \cdot t + \varphi_0) + \cos^2 \alpha \cdot \sin^2(\omega \cdot t + \varphi_0)}, \text{ м с}^2 \quad (4)$$

При отсутствии препятствий и постоянных условий по влажности, твёрдости и плотности форма кротодрены имеет цилиндрическую поверхность с выступами, повторяющими профиль лучей кротодренирующего рабочего органа.

При определении суммарного тягового сопротивления одной из составляющих является сопротивление движению рабочего органа

$$W_{po} = W_{гн} + W_{гд} \quad (5)$$

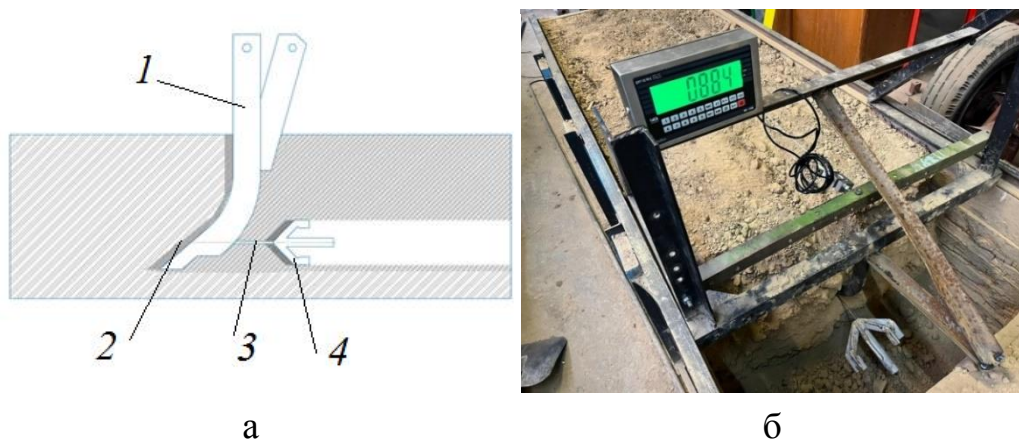
Для минеральных грунтов горизонтальная составляющая суммарного сопротивления движению ножа зависит от глубины дренирования, типа грунта, толщины ножа, угла резания

$$W_{гн} = 10^{-2} C_{уд} h_d^{1,35} (1 + 0,1 b_n) (1 - (90 - \psi_n)/180) k_\gamma, \quad (6)$$

Полученные теоретические параметры и режимы работы рабочего органа позволили обозначить диапазон конструктивных значений.

В третьем разделе «Программа и методика проведения экспериментальных исследований» изложены условия функционирования кротодренирующего рабочего органа, описание приборного и программного обеспечения, последовательность комплекса лабораторных экспериментов, выполнение полевого опыта, а также сравнительных испытаний в учебных и производственных условиях.

С целью определения рациональной конструкции кротодренирующего рабочего органа методикой предусмотрено проведение как рекогносцировочных исследований параметров кротодренирующего рабочего органа, так и лабораторных экспериментов ПФЭ 3³ на почвенном канале кафедры технологических и транспортных машин и комплексов ФГБОУ ВО Тверская ГСХА (рисунок 5).



а – схема технологического процесса; б – лабораторная установка;
1 – стойка; 2 – лапа; 3 – упругое соединение; 4 – звёздчатый дрениер;
Рисунок 5 – Лабораторные исследования кротодренирующего рабочего органа на почвенном канале кафедры ТТМиК ФГБОУ ВО Тверская ГСХА

Исследуемыми факторами в полевых исследованиях являются диаметр рабочего органа, глубина обработки, скорость движения. Откликами выступают: тяговое сопротивление, плотность, твердость и влажность почвы. Количество повторности – трехкратная. Измерения плотности, твердости и влажности почвы проводятся через 14 дней после проведения эксперимента, с целью установления зависимостей откликов от исследуемых факторов. Замеры производятся на почвенных разрезах в околodrенной зоне с помощью приборного обеспечения полевой лаборатории Литвинова.

Программой проведения производственных испытаний установлено проведение экспериментальных исследований в сравнении опытного образца модернизированной машины ПГН-3-5М с базовым вариантом Агридиггер РК-3/ОБ. Откликами производственных испытаний являются: эксплуатационные затраты и урожайность сельскохозяйственной культуры. А также измерение влажности и твердости повогрунта в динамике с мая по октябрь на пяти учетных площадках каждого варианта. Урожайность культур определяли в соответствии с требованиями классических методик.

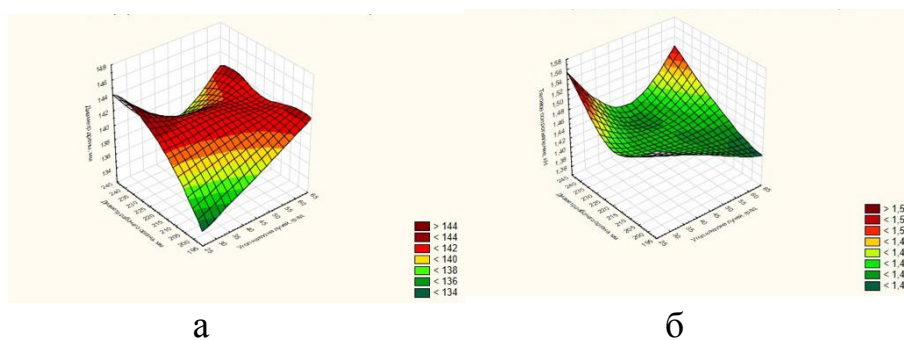
В процессе исследований использовали электронное приборное обеспечение: пенетромтр грунтовый ПСГ МГ-4 для определения твердости и плотности грунта, влагомер почвы АQ-M20S01. Измерение тягового усилия

измеряли электронными динамометрами серии ДЭП/7. Степень разуплотнения и образования дрен оценивалась метрическим и органолептическим методом. Фиксацию и дальнейшую обработку опытных данных производили посредством программного продукта КубНИИТиМ GOST 20915, а также Microsoft Office 2010 (Excel), MatchCad 15.

Обработка результатов, полученных при проведении лабораторных, полевых исследований и производственных испытаний проводится по классическим методикам.

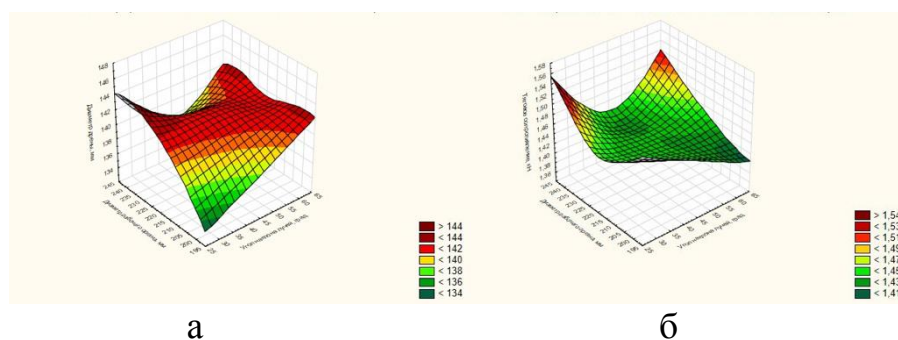
В четвёртом разделе «Результаты и анализ экспериментальных исследований» представлены обработанные результаты лабораторных, полевых исследований и производственных испытаний с последующим анализом (рисунок 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12).

В ходе обработки результатов лабораторных исследований были получены графические зависимости с фиксацией: рисунок 6 угол наклона лучей - $\gamma=45^{\circ}$, рисунок 7 количество лучей $k=7$ шт., рисунок 8 диаметр $D=220$ мм.



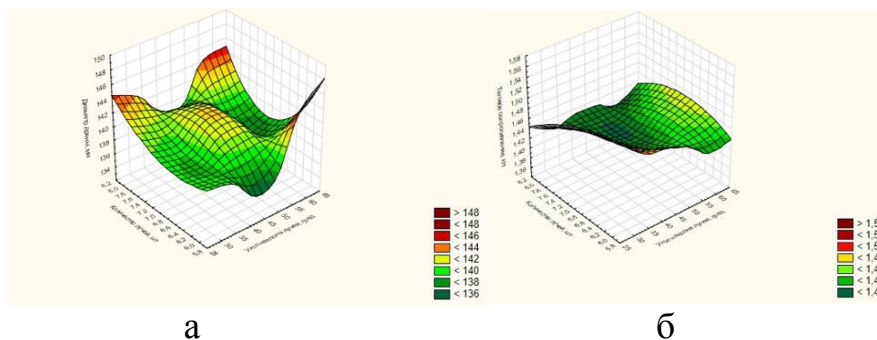
а – диаметр дрены; б – тяговое сопротивление;

Рисунок 6 – Графические зависимости от диаметра кротодренирующего рабочего органа и количества лучей



а – диаметр дрены; б – тяговое сопротивление;

Рисунок 7 – Графические зависимости от диаметра кротодренирующего рабочего органа и угла наклона лучей

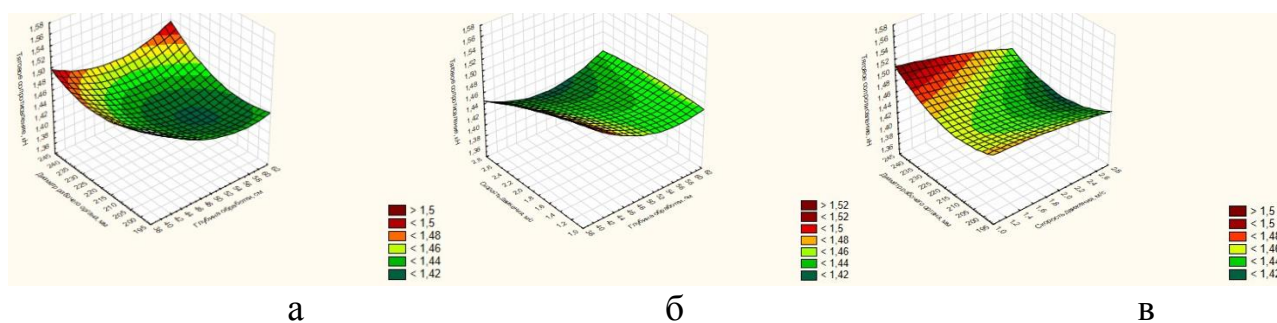


а – диаметр дрены; б – тяговое сопротивление;

Рисунок 8 – Графические зависимости от угла наклона и количества лучей

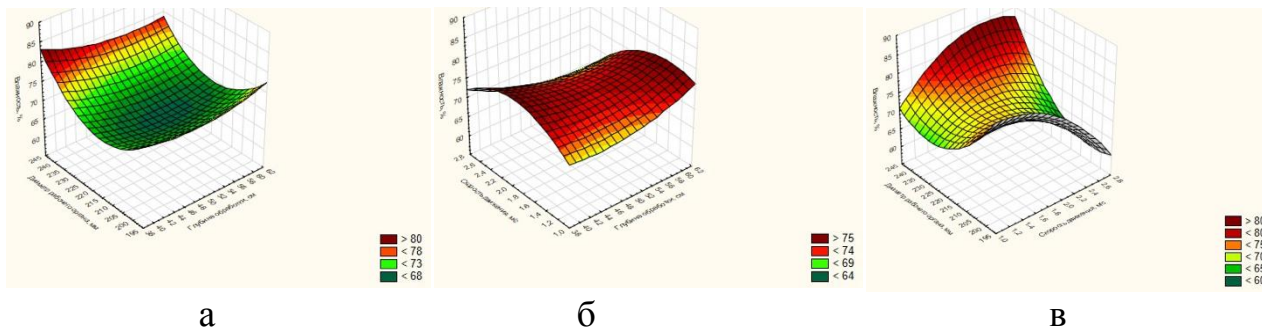
Данные графические зависимости позволяют утверждать, что в дальнейших исследованиях для достижения оптимальных значений диаметра дрены и наименьшего тягового сопротивления фиксируем конструктивные параметры кротодренирующего рабочего органа: угол наклона лучей $\gamma=45^{\circ}$, количество лучей $k=8$ шт. При этом значения откликов диаметра рабочего органа не однозначно влияли на отклики, что требует дальнейших исследований. Принимая вышеизложенное, были установлены пределы значений диаметра кротодренирующего рабочего органа $D=200\dots 240$ мм.

Полевые исследования проводились в рамках темы НИР кафедры ТТМиК на залежных землях сельскохозяйственного назначения ФГБОУ ВО Тверская ГСХА. Площадь опытного участка составила 1,5 га. Характеристика участка: залежные земли более 10 лет. В результате обработки составлены регрессионные зависимости (рисунок 9, 10, 11, 12).



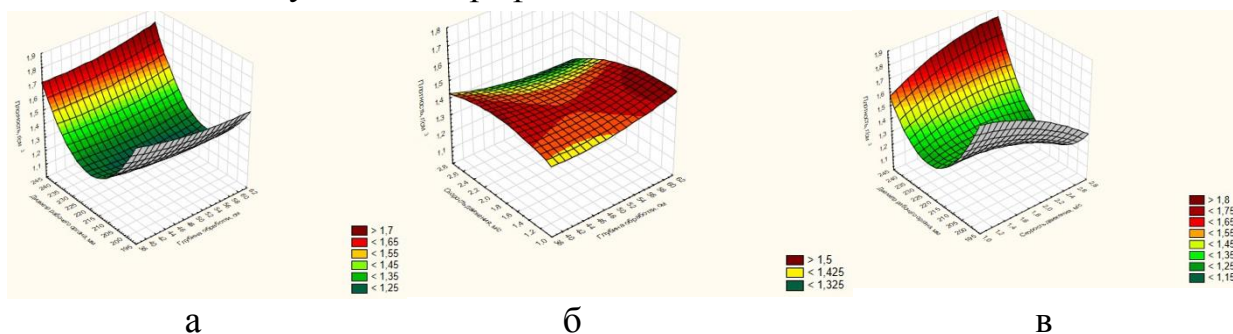
а - от диаметра кротодренирующего рабочего органа и глубины обработки;
 б - от скорости движения и глубины обработки; в - от скорости движения и диаметра рабочего органа;

Рисунок 9 – Графические зависимости тягового сопротивления



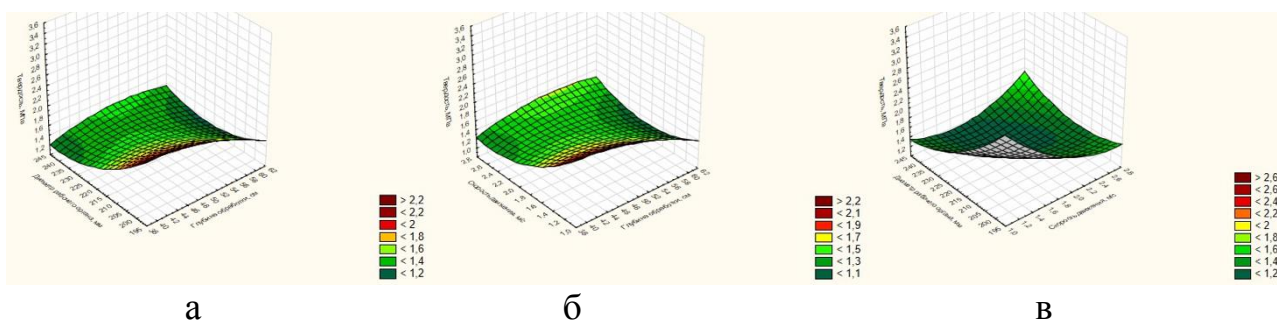
а - от диаметра кротодренирующего рабочего органа и глубины обработки;
 б - от скорости движения и глубины обработки; в - от скорости движения и диаметра рабочего органа;

Рисунок 10 – Графические зависимости влажности



а - от диаметра кротодренирующего рабочего органа и глубины обработки;
 б - от скорости движения и глубины обработки; в - от скорости движения и диаметра рабочего органа;

Рисунок 11 – Графические зависимости плотности



а - от диаметра кротодренирующего рабочего органа и глубины обработки;
 б - от скорости движения и глубины обработки; в - от скорости движения и диаметра рабочего органа;

Рисунок 12 – Графические зависимости твердости

Анализ графических зависимостей тягового сопротивления от диаметра кротодренирующего рабочего органа, глубины обработки и скорости движения позволил установить схождение значений отклика по диаметру рабочего органа и скорости движения. Фактор глубина обработки имеет больший диапазон

значений $H=48...58$ см, что не дает возможности ей пренебречь исходя из процента отклонения (17%) при выполнении технологической операции.

Анализ графических зависимостей физико-механических и технологических свойств почвы (рисунок 10, 11, 12) от установленных факторов согласно плану и методике исследования показал. Наиболее близкие к рекомендуемым значениям по влажности $W_o=60...70$ % ППВ, плотность $\rho=1,1...1,4$ г/см³, твердость $P=1,1...1,6$ МПа достигаются при значениях диаметра рабочего органа $D=200...240$ мм. Глубина обработки почвогрунта и скорость движения не однозначно влияет на исследуемые отклики, но принимая во внимание анализ графических зависимостей можно утверждать, что оптимальные значения находятся в диапазонах: глубина обработки $H=50...60$ см, скорость движения $V=2,2...2,7$ м/с.

В ходе производственных испытаний было установлено, что при кротодренировании значения влажности и твердости почвогрунта до 60 см (уровни измерений по глубине $H=0...30$ см; $H=30...60$ см) по глубине имели более плавный характер и меньшее отклонение от средней величины в зонах оптимума, что положительно сказалось на снижении стресса для вегетации растений и повысило урожайность технической конопли. Значения по влажности за весь период вегетации при кротодренировании варьировались в пределах $W_{п}=59...66$ % ППВ, а твердости $P=0,7...1,4$ МПа в период с 3-ей декады мая по 3-ю декаду сентября.

Таблица 1 – Биологическая урожайность технической конопли

Номер участка	Урожайность семян *, ц/га	Урожайность соломы **, ц/га
1	6,57	112
2	10,45	134
3	12,81	168
Среднее значение	10,11	143
* при стандартной влажности семян 12-14%		
** при стандартной влажности для региона 18%		

Согласно данным таблицы 1 биологическая урожайность технической конопли в варианте машинной технологии с проведением технологической операции кротодренирование увеличилась. В сравнении с контрольным вариантом машинной технологии 1: урожайность семян увеличилась на 94 %, урожайность соломы на 50 %. В сравнении с вариантом 2: семена на 22 %, солома на 25 %.

В пятом разделе «Экономическая оценка использования кротодренирующего рабочего органа» проведена в соответствии с ГОСТ 34393-2018 - Методы экономической оценки.

Результаты настоящего исследования подтверждены актом внедрения ООО «Грин Фьюлз». Применение разработанного кротодренирующего рабочего

органа в составе машины ПГН-3-5М позволяет повысить урожайность на 25% соломы (168 ц/га) и получить годовой экономический эффект 5898 руб./га. Исходя из расчетов установлено, что использование модернизированной машины с кротодренирующими рабочими органами является экономически эффективным решением.

Полученное значение срока окупаемости капитальных вложений минимально, при этом улучшение почвенных характеристик, уменьшение затрат на введение земель в севооборот позволяет наметить пути развития и стабильного роста сельскохозяйственного производства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ данных показал. Доля залежных земель Тверской области составляет более 50 % от общей площади пашни, что характерно для всей Нечерноземной зоны РФ с избыточным увлажнением. Создание рациональных ФМТС почвогрунта для возделывания сельскохозяйственных культур, при освоении залежных земель, требует глубокой обработки – кротодренирования.

2. Разработана математическая модель деформации почвы кротодренирующим рабочим органом, при упруго-вязкопластичной характеристике почвогрунта. Тип рабочего органа выбран – звездчатый. Рациональные теоретические параметры кротодренирующего рабочего органа: диаметр рабочего органа $D=200...240$ мм, длина рабочего органа $L=200$ мм, толщина луча $B=5$ мм, длина луча $LH=170$ мм, угол наклона лучей $\gamma=30...60^\circ$.

3. Определены энергетические показатели кротодренирующего рабочего органа, с установлением тягового сопротивления на глубине 0,5 м для дерново-подзолистых, легко- и среднесуглинистых почв при диаметрах рабочего органа $D=200...240$ мм $W_{гн}=1,4...1,8$ кН.

4. В ходе лабораторных и полевых исследований подтверждены теоретические расчеты параметров и режимов работы кротодренирующего рабочего органа. При диаметре кротодренажного рабочего органа $D=220$ мм, угле установки лучей $\gamma=45^\circ$, количестве лучей $k=8$ шт., значение показателя тягового сопротивления одного кротодренирующего рабочего органа составляет $W_{гн}=1,42$ кН. При этом на глубине до $H=60$ см достигается влажность почвогрунта $W_{п}=60...70$ % ППВ, твердость $P=1,1...1,4$ МПа и плотность $\rho=1,1...1,2$ г/см³.

5. Испытания кротодренирующего рабочего органа в условиях освоения залежи ООО «Грин Фьюлз» Ржевского района Тверской области показали. Обрушенность исходного диаметра кротодрены на протяжении полевого сезона составила не более 10 %, что говорит об ее устойчивости. Применение кротодренирующего рабочего органа на глубине $H=50$ см позволяет изменять твердость среднесуглинистой дерново-подзолистой почвы с $P=2,1...2,3$ МПа до

$P=1,1 \dots 1,4$ МПа, а также стабилизировать показатели влажности и твердости на протяжении всего полевого сезона в пределах $W_{п}=59 \dots 66$ % ППВ, $P=0,7 \dots 1,4$ МПа.

6. Применение разработанного кротодренирующего рабочего органа в составе машины ПГН-3-5М позволяет повысить урожайность на 25% соломы (168 ц/га) и получить годовой экономический эффект 5898 руб./га.

Рекомендации производству. Рабочий орган выполняет функции по глубокому рыхлению и дренированию почвогрунта, тем самым формирует оптимальный водно-воздушный режим почвы с минимальной почвообразующей обработкой в составе комплекса мероприятий по введению в сельскохозяйственный оборот залежных земель.

Внедрение разработки в хозяйствах Тверской области и Нечерноземной зоны РФ позволяет минимизировать эксплуатационные затраты при освоении залежи, что, несомненно, является актуальным направлением как для крупных хозяйств и холдингов, так и для среднего, мелкого фермерства.

Из основных преимуществ использования разработки для АПК можно выделить следующее:

1. Возможность для различных форм хозяйствования приобрести как целиком машину, так и отдельно рабочий орган(ы), с установкой на уже имеющиеся машины глубокорыхлители, что приводит к наименьшим затратам для сельхозтоваропроизводителей, так как в целом машины для выполнения работ по глубокому рыхлению, дренированию и мелиорации залежи стоят достаточно дорого.

2. Качество выполняемых операций: ввиду особенности конструкции, в сравнении с представленными аналогами, где рабочий орган дренир выполнен в форме продолговатого гладкого стержня, а также комплексного функционирования (глубокое рыхление и кротование), главной целью является исключить переуплотнение стенок канала дрены и околдренной зоны, при снижении энерго-экономических затрат при осуществлении технологической операции.

3. Увеличение количества обрабатываемой площади и количество дрен на ее единицу, при снижении энергозатрат в сравнении с аналогами.

4. Простота и ремонтпригодность конструкции обеспечивает высокую ресурсность, за счет формы и способа крепления рабочего органа, а также снижает риск поломки за счет гибкости системы.

5. Цена: стоимость предлагаемой разработки на 17...46% ниже, чем у представленных серийно-выпускаемых аналогов, не имеющих преимуществ, описанных выше.

Перспектива дальнейшего развития темы. В дальнейшем планируется разработать активную комплексную систему функционирования выполнения технологической операции кротодренирования, с учетом проведенных исследований и защитой интеллектуальной собственности, как отдельных элементов, так и системы в целом.

При выполнении исследований, встал ряд вопросов и рационализаторских решений, которые нуждаются в дальнейшем исследовании, а именно:

1. Возможность вращения кротодренирующего рабочего органа, как следствие, изменение его конструктивных параметров и режимов работы в целом.

2. Возможность введения раствора для укрепления стенок канала дрены.

3. Возможность сопутствующего разноуровневого внесения мелиорантов (извести) и минеральных или органических удобрений в различных формах.

4. Проведение многолетних моноциклических исследований по почвообработке и возделываемой сельскохозяйственной культуре отклика, на примере 100-ого опыта опытной полевой станции ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева и ряда российских машиноиспытательных станций.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах

Публикации в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Предпосевная обработка залежных земель / Ф. Л. Блинов, В. И. Берней, Е. С. Белякова, И. В. Туманов // Вестник НГИЭИ. – 2020. – № 11(114). – С. 17-26. – DOI 10.24411/2227-9407-2020-10102.

2. Блинов, Ф. Л. Использование комбинированных рабочих органов и агрегатов при возделывании льна-долгунца / И. В. Сизов, Ф. Л. Блинов, П. В. Морозов // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2021. – Т. 15, № 3. – С. 35-40. – DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-3-35-40.

3. Блинов, Ф. Л. Методика лабораторного исследования звездчатого дренирующего почвообрабатывающего рабочего органа / Ф. Л. Блинов, А. В. Кудрявцев // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. – 2021. – Т. 68, № 2(43). – С. 84-89. – DOI 10.22314/2658-4859-2021-68-2-84-89.

Патенты РФ

4. Патент на полезную модель № 215380 U1 Российская Федерация, МПК А01В 13/08, Е02В 11/02. Дренер-кротователь : № 2022104563 : заявл. 22.02.2022 : опубл. 12.12.2022 / Ф. Л. Блинов, А. В. Кудрявцев.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024612882 Российская Федерация. Автоматизация технологических процессов в растениеводстве : № 2024611020 : заявл. 22.01.2024 : опубл. 06.02.2024 / Д. Р. Аветисян, Ф. Л. Блинов, Д. В. Ларин [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования «Донской государственный аграрный университет».

В сборниках научных трудов и материалах конференций

6. Перспективные приемы возделывания мелкосеменных культур / И. В. Сизов, А. В. Кудрявцев, Ф. Л. Блинов [и др.] // Стратегии и векторы развития АПК : Сборник статей по материалам национальной конференции, посвященной 100-летию Кубанского ГАУ, Краснодар, 15 ноября 2021 года / Отв. за выпуск А.А. Титученко. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2021. – С. 273-279.

7. Блинов, Ф. Л. Применение современных электронных приборов при проведении полевых исследований / И. В. Сизов, Ю. В. Елисеев, Ф. Л. Блинов // Образование, инновации, цифровизация: взгляд регионов : сборник научных трудов по материалам Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Тверь, 15 февраля 2022 года. – Тверь: Издательство Тверской ГСХА, 2022. – С. 358-360.

8. Блинов, Ф. Л. Программа и методика выполнения полевого эксперимента дренажа при культуртехнической мелиорации / Ф. Л. Блинов, А. И. Беляков, А. В. Кудрявцев // Образование, инновации, цифровизация: взгляд регионов : сборник научных трудов по материалам Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Тверь, 15 февраля 2022 года. – Тверь: Издательство Тверской ГСХА, 2022. – С. 352-355.

9. Использование цифровизации при проектировании элементов технических систем в агробизнесе / А. В. Кудрявцев, Ф. Л. Блинов, В. В. Голубев, И. С. Комелькова // Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал. – 2022. – № 2(4). – С. 24-30. – DOI 10.54016/SVITOK.2022.35.99.003.

10. Совершенствование технологии возделывания льна-долгунца в рамках проекта «Светлая весна - 2022» / И. В. Сизов, А. В. Виноградов, В. В. Голубев, Ф. Л. Блинов // Ресурсосберегающие технологии и технические средства производства и переработки сельскохозяйственной продукции : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию со дня рождения доктора сельскохозяйственных наук, профессора, члена-корреспондента РАН Горбачева Ивана Васильевича, Тверь, 20 сентября 2022 года. – Тверь: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр лубяных культур», 2022. – С. 32-39.

11. Блинов, Ф. Л. Применение комбинированного глубокого рыхления залежи при возделывании технической конопли / Ф. Л. Блинов, А. В. Кудрявцев // Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал. – 2023. – Т. 3, № 1(7). – С. 51-56. – DOI 10.54016/SVITOK.2023.61.60.007.

12. Блинов, Ф. Л. Оценка учёта урожайности в условиях ввода залежи / А.Ю. Смирнов, Ф.Л. Блинов, М.А. Романов и др. // Перспективы инновационного развития в агротехнических и энергетических системах: материалы Международной научно-практической конференции / Российский государственный университет народного хозяйства имени В.И. Вернадского. – Балашиха: Изд-во ФГБОУ ВО РГУНХ им. В.И. Вернадского, 2023. – 36-43 с.

13. Исследование технической оснащенности ввода залежи 15 лет в

условиях культуртехнической мелиорации обработкой подземной части растений / А. В. Кудрявцев, Д. С. Калинин, Ф. Л. Блинов, П. И. Гржива // Проблемы и перспективы развития науки и образования : Материалы Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Тверь, 14 февраля 2023 года. – Тверь: Издательство Тверской ГСХА, 2023. – С. 344-347.

14. Создание 3Д графика с использованием экспериментальными данными с применением программного комплекса Mathcad / А. В. Кудрявцев, В. В. Голубев, А. Н. Овчинников, Ф. Л. Блинов // Студенческая наука, Тверь, 14–16 марта 2023 года. – Тверь: Тверская государственная сельскохозяйственная академия, 2023. – С. 327-329.

15. Агроэнергетическая эффективность ввода залежи / А. Ю. Смирнов, Н. Н. Дмитриев, А. В. Кудрявцев [и др.] // Племенное животноводство, кормопроизводство и механизация сельского хозяйства в Российской Федерации, Тверь, 06 июня 2023 года. – Тверь: Тверская государственная сельскохозяйственная академия, 2023. – С. 250-254.

16. Культуртехническая мелиорация при возделывании зерновых и лубяных сельскохозяйственных культур в условиях ввода залежи / А. Ю. Смирнов, Ф. Л. Блинов, А. В. Кудрявцев, В. В. Голубев // Племенное животноводство, кормопроизводство и механизация сельского хозяйства в Российской Федерации, Тверь, 06 июня 2023 года. – Тверь: Тверская государственная сельскохозяйственная академия, 2023. – С. 245-250.

17. Оценка учёта урожайности зерновых и лубяных сельскохозяйственных культур при различных мелиоративных технологических приёмах / Ф. Л. Блинов, А. С. Васильев, И. В. Сизов [и др.] // Проблемы и перспективы инновационного развития землепользования на мелиорированных землях : Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Тверь, 27 сентября 2023 года. – Тверь: Тверской государственный университет, 2023. – С. 430-439.

18. Применение модернизированной малогабаритной техники в условиях ввода залежи / Н. И. Иванов, П. Г. Синицин, А. А. Алимуратов [и др.] // Проблемы и перспективы инновационного развития землепользования на мелиорированных землях : Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Тверь, 27 сентября 2023 года. – Тверь: Тверской государственный университет, 2023. – С. 440-444.

19. Блинов, Ф. Л. Оценка посевов зерновых и технических культур с помощью фотоснимков в условиях ввода залежи / Ф. Л. Блинов, А. В. Кудрявцев, В. В. Голубев // Инновационные технологии: опыт, проблемы, перспективы развития, Тверская государственная сельскохозяйственная академия, 25 октября 2023 года. – Тверь: Тверская государственная сельскохозяйственная академия, 2023. – С. 301-304.

20. Предпосевная обработка почвы под зерновые и лубяные сельскохозяйственные культуры / Д. С. Ерохин, Ф. Л. Блинов, Л. Ю. Васильева, В. В. Голубев // Инновационные технологии: опыт, проблемы, перспективы развития, Тверская государственная сельскохозяйственная академия, 25 октября 2023 года. – Тверь: Тверская государственная сельскохозяйственная

академия, 2023. – С. 307-310.

21. Оценка учёта урожайности при посеве селекционной сеялкой в условиях культуртехнической мелиорации / И. В. Цуркан, Ф. Л. Блинов, Р. А. Кудласевич, В. В. Голубев // Инновационные технологии: опыт, проблемы, перспективы развития, Тверская государственная сельскохозяйственная академия, 25 октября 2023 года. – Тверь: Тверская государственная сельскохозяйственная академия, 2023. – С. 318-323.

22. Блинов, Ф. Л. Теоретические и экспериментальные исследования кротодренажного рабочего органа при вводе залежи / Ф. Л. Блинов, А. С. Фирсов // Реинжиниринг и цифровая трансформация эксплуатации транспортно-технологических машин и робото-технических комплексов : Сборник статей Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 19–20 декабря 2023 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2023. – С. 11-16.

23. Блинов, Ф. Л. Строение почвенного слоя при подготовке почвы / П. Г. Синицин, Ф. Л. Блинов // Реинжиниринг и цифровая трансформация эксплуатации транспортно-технологических машин и робото-технических комплексов : Сборник статей Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 19–20 декабря 2023 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева, 2023. – С. 43-48.

В учебниках и учебных пособиях

24. Блинов, Ф. Л. Механизация, цифровизация и информатизация сельскохозяйственного производства: учебное пособие для студентов по направлениям подготовки 35.03.06 Агроинженерия, 35.03.07 Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции, 35.04.06 Агроинженерия / М.В. Никифоров, В.В. Голубев., А.В. Кудрявцев, Ф.Л. Блинов, Е.С. Белякова – Тверь: Тверская ГСХА, 2021 – 305 с.: Режим доступа <https://moodle.tvgsha.ru/mod/data/view.php?d=1&rid=676&filter=1>.

25. Блинов, Ф. Л. Совершенствование технологических процессов уборки зерновых и лубяных сельскохозяйственных культур в условиях культуртехнической мелиорации Тверского региона: учебное пособие /А.В. Кудрявцев, А.Ю. Смирнов, В.В. Голубев, Ф.Л. Блинов, М.А. Романов - Тверь. - Тверская ГСХА. - 2023. - 246 с.: Режим доступа <https://moodle.tvgsha.ru/mod/data/view.php?d=1&rid=1398&filter=1>.