

Покусаев Пётр Александрович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ
РАЗРАБОТКОЙ И ОБОСНОВАНИЕМ ПАРАМЕТРОВ
ПРОТИВОЭРОЗИОННОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОРУДИЯ**

Специальность 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование для
агропромышленного комплекса

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Саратов 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока».

**Научный
руководитель:**

Соколов Николай Михайлович,
доктор технических наук, старший научный
сотрудник.

**Официальные
оппоненты:**

Борисенко Иван Борисович, доктор
технических наук, старший научный сотрудник,
профессор кафедры «Земледелие и агрохимия»
ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ.

Белоусов Сергей Витальевич, кандидат
технических наук, доцент, доцент кафедры
«Процессы и машины в агробизнесе»
ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Аграрный научный центр
«Донской»

Защита диссертации состоится «__» _____ 2025 года в _____ часов
на заседании диссертационного совета 35.2.035.03 на базе ФГБОУ ВО «Саратов-
ский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени
Н. И. Вавилова», по адресу: г. Саратов, ул. Советская, 60, ауд. 325.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Саратов-
ский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени
Н. И. Вавилова» и на сайте <https://www.vavilovsar.ru>.

Отзывы на автореферат направлять по адресу: 410012, г. Саратов, пр. им.
Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3, учёному секретарю диссертационного совета
35.2.035.03., e-mail: chekmarev.v@yandex.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Василий Васильевич
Чекмарёв

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Особенность ведения сельскохозяйственного производства в Поволжье связана с тем, что в большинстве регионов более 50% обрабатываемых земель расположены на склонах. В связи с этим, на таких землях, ежегодно теряется большое количество почвенных и водных ресурсов в виде поверхностного стока талой и ливневой воды и смыва плодородной почвы. В склоновых агроландшафтах, кроме водной эрозии, значительный ущерб наносит технологическая (механическая) эрозия, которая возникает при любых обработках почвы от воздействия рабочих органов применяемых почвообрабатывающих орудий на обрабатываемый пласт. В связи с этим, от действия водной и технологической эрозии, верхний почвенный слой, постоянно смещается в нижнюю часть склонов. В результате этого, в верхней части склоновых полей, толщина плодородного слоя неуклонно снижается, а в нижней их части образуются глубокие промоины, затрудняющие проведение последующих работ. В итоге значительные потери атмосферных осадков и плодородия почвы приводят к снижению продуктивности полевых культур на эродированных землях до 40%.

Применяемые орудия и приспособления для отвальной и безотвальной обработки почвы, используемые в производстве, способны частично снижать только водную эрозию. При этом, использование отвальных обработок почвы на склонах приводит к нарушению структуры почвенного слоя, в результате перемешивания верхнего слоя с нижним подпахотным горизонтом. Кроме этого, не защищенная растительными остатками, поверхность пашни легко размывается потоками воды.

На безотвальных обработках более плотное сложение пахотного слоя приводит к неконтролируемым потерям воды во время активного снеготаяния. Кроме этого, высокая отражающая способность стерневых остатков замедляет прогревание почвы, что приводит к снижению содержания нитратного азота в корнеобитаемом слое. Это является причиной, приводящей к снижению урожайности возделываемых культур.

Сложившаяся ситуация показывает, что противоэрозионные приемы обработки почвы и технические средства, применяемые на склоновых полях, не отвечают положениям агротехнических требований в части защиты от процессов эрозии.

Поэтому исследования, направленные на повышение противоэрозионной устойчивости пашни, за счет совершенствования процесса основной обработки почвы и разработки противоэрозионного орудия, снижающего водную и технологическую эрозию на склоновых землях, являются актуальными и имеют важное экономическое значение.

Степень разработанности темы. Проблеме совершенствования почвозащитных технологий, для регионов подверженных различным видам эрозии, посвящены работы ведущих ученых А. И. Бараева, В. В. Докучаева, А. Н. Каштанова, М. Н. Заславского, В. Б. Гуссака, В. И. Кирюшина, Ц. Е. Мирцхулава, Г. П. Сурмача, С. С. Соболева, А. С. Козменко, А. И. Шабаева, К. И. Карповича и других.

Развитие теории и конструкции технических средств для обработки почвы представлено в работах известных отечественных ученых В. П. Горячкина, Г. Н. Синеокова, П. Н. Бурченко, Ю. А. Ветрова, А. Н. Зеленина, И. М. Панова, Н. В. Краснощекова, М. Н. Мазитова, С. И. Камбулова, В. Б. Рыкова, Я. П. Лобачевского, В. А. Милюткина, И. Б. Борисенко, В. М. Бойкова, С.И. Белоусова, С. В. Старцева, А. П. Спирина, Н. П. Ларюшина, Ю. А. Савельева и других ученых.

Анализ известных работ показал, что основные исследования и разработки направлены на увеличение производительности и снижение энергетических затрат. При этом главным недостатком применяемых обработок почвы, остаются нарушение структуры почвенного слоя и неспособность снижения технологической эрозии, возникающей при каждой обработке почвы. Поэтому вопрос сохранения почвенного плодородия на склоновых землях, за счет совершенствования технологического процесса и разработки новых технических средств с ресурсосберегающими рабочими органами, требует дополнительных технологических разработок.

Изложенные в представленной работе научные исследования, выполнены в ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» согласно государственной научно-технической программы № 0751-2019-0007 "Научные основы формирования элементов современных систем земледелия, обеспечивающих повышение эффективности использования природно-ресурсного потенциала, рост производства сельскохозяйственной продукции и сохранение экологической эффективности агроландшафтов для хозяйств с зерновой специализацией в степной зоне Поволжья".

Цель работы – снижение водной и технологической эрозии на склоновых землях за счет разработки технологического процесса и противоэрозионного орудия.

Задачи исследования:

1. провести анализ применяемых технологий обработки почвы и технических средств, используемых для обработки земель, подверженных процессам эрозии и определить основные направления их совершенствования;
2. обосновать ресурсосберегающий процесс обработки почвы, снижающий водную и технологическую эрозию и конструктивно-технологическую схему нового почвообрабатывающего орудия с возможностью его использования на склонах до 8°;

3. теоретически обосновать основные параметры и тяговое сопротивление рабочих органов противоэрозионного орудия, и возможность их применения на склоновых полях;

4. провести исследования экспериментального почвообрабатывающего орудия в лабораторно-полевых и хозяйственных условиях и определить агроэкологическую и технико-экономическую эффективность его применения.

Объект исследования – процесс основной обработки почвы, выполняемый рабочими органами почвообрабатывающего орудия, создающего на обработанной склоновой поверхности противоэрозионные элементы.

Предмет исследования – конструктивные и технологические параметры разработанных рабочих органов орудия и создаваемых противоэрозионных элементов, агротехническая, агроэкологическая и технико-экономическая оценка противоэрозионного орудия.

Научная новизна работы:

- разработка структурной схемы факторов, влияющих на процесс водной и технологической эрозии и созданной на основе их анализа новой конструктивной схемы орудия, с лемешными рабочими органами, создающими на поверхности противоэрозионный микрорельеф;

- исследование влияния конструктивных параметров лемешных органов орудия на технологические характеристики создаваемых противоэрозионных элементов, энергетические показатели применяемых в орудии рабочих органов и возможность их использования при обработке склоновых полей;

- экспериментальное определение оптимальных рабочих параметров лемешных органов орудия и создаваемого ими противоэрозионного микрорельефа, оказывающих влияние на снижение эрозионных процессов.

Конструкция противоэрозионного орудия, защищена патентом РФ на изобретение №2728129.

Теоретическая и практическая значимость работы:

- проведенные научные исследования позволили разработать ресурсосберегающий процесс обработки почвы и противоэрозионное орудие, снижающее потери почвенных и водных ресурсов на склоновых полях, в результате снижения поверхностного стока воды и потерь почвы;

- полученные теоретические зависимости позволяют определить конструктивные параметры и энергетические показатели, используемых в противоэрозионном орудии рабочих органов, при обработке земель, подверженных водной и технологической эрозии;

- ресурсосберегающая обработка почвы и почвообрабатывающее орудие к тракторам тягового класса 30...40 кН, в агрегате с трактором МТЗ – 1523, прошли производственную проверку в ОС «Аркадакская», Аркадакского района Саратовской области на основной обработке почвы.

- полученные результаты исследований рекомендуются организациям занимающимся проектированием и изготовлением противоэрозионной почвообрабатывающей техники.

Методология и методы исследования. Методология проводимых исследований основана на системном подходе раскрывающим взаимосвязь конструктивных и технологических параметров почвообрабатывающего орудия с технологической средой. Теоретическое обоснование параметров рабочих органов и процесса создания противоэрозионных элементов проводилось на основе математического анализа и известных законов механики. При проведении исследований руководствовались действующими ГОСТами и разработанными на их основе частными методиками, приборами и установками. Полученные результаты обрабатывались на ПЭВМ с использованием стандартных программ MS Excel 2007 и MathCad.

Положения, выносимые на защиту:

- усовершенствованный технологический процесс обработки почвы на склоновых полях, выполняемый противоэрозионным орудием с разработанными рабочими органами, снижающими водную и технологическую эрозию;

- аналитические выражения, определяющие функциональную зависимость технологических размеров создаваемого противоэрозионного микрорельефа от конструктивных и режимных параметров рабочих органов, выражения для определения основных параметров рабочих органов орудия и его тягового сопротивления;

- экспериментальные зависимости, определяющие оптимальные конструктивные и режимные параметры рабочих органов противоэрозионного орудия при его использовании на различных агрофонах;

- показатели агротехнической, агроэкологической и технико-экономической эффективности экспериментального орудия.

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность результатов исследований подтверждена достаточным объемом материала, полученного в экспериментах, высокой степенью сходимости теоретических и экспериментальных данных, использованием стандартных методик, необходимых приборов и программного обеспечения.

Основные результаты исследований, изложенные в диссертационной работе доложены и одобрены на конференциях: на 3-й Всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов с международным участием «Экология, ресурсосбережение и адаптивная селекция (посвящается 145-летию со дня рождения Дояренко А.Г.)» (Саратов, 2019 г.); в ФГБОУ ВО Вавиловский университет: XXXV Международной научно-технической конференции имени В.В. Михайлова «Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники» (Саратов, 2022, 2024 гг.); Международной научно-технической конференции имени А.Ф. Ульянова «Инновационное техническое обеспечение агропромышленного комплекса» (Саратов, 2023 г.). XVIII Международной научно-практической конференции. ФГБНУ «Курский ФАНЦ» «Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия» (Курск, 2023 г.). На расширенном заседании отдела механизации ФГБНУ ФАНЦ «Юго-Востока» (Саратов, 2025 г.).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 12 научных работах, из которых 5 в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК,

получен патент РФ на изобретение. Общий объем публикаций составляет 4,8 п. л., из которых 1,4 п. л., принадлежит лично соискателю.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения и 5 глав, заключения, списка литературы из 144 наименований. Работа изложена на 149 страницах машинописного текста, включает 9 таблиц, 45 рисунков и приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования и сформулированы основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние вопроса. Цель и задачи исследований» приводится анализ почвозащитных технологий и технических средств, применяемых на склоновых землях. Выявлены основные факторы, влияющие на возникновение водной и технологической эрозии и определены эффективные пути для сокращения потерь почвенных и водных ресурсов в эрозионно-опасных ландшафтах. Рассмотрены конструктивные особенности и принцип работы технических средств для ресурсосберегающей обработки почвы. Выявлены положительные и отрицательные стороны применяемых технологий и технических средств, влияющие на энергетические показатели и агроэкологический эффект.

На основании проведенного анализа литературных и патентных источников было выявлено, что одним из перспективных направлений для снижения водной и технологической эрозии на склоновых землях, могут быть обработки с созданием на склоновой поверхности пашни противоэрозионных элементов из срезанного и смещенного верхнего почвенного слоя с пожнивными остатками. Данный технологический процесс, выполняемый одновременно с основной обработкой почвы, обеспечит выравнивание плодородного слоя почвы по толщине и снижение потерь дефицитной воды, за счет сокращения поверхностного стока.

По результатам проведенных исследований поставлена цель и задачи исследований.

Во второй главе «Теоретические исследования технологического процесса обработки почвы, на склоновых землях, противоэрозионным почвообрабатывающим орудием» приведена структурная схема основных факторов, влияющих на процесс водной и технологической эрозии на склоновых землях (рисунок 1). Рассмотрены различные варианты рабочих органов для выполнения основной обработки почвы и создания на обработанной поверхности системы противоэрозионных элементов, расчленяющих поверхность пашни на множество замкнутых участков. С учетом агротехнических требований, разработана конструктивно-технологическая схема и конструкция почвообрабатывающего орудия, позволяющая производить сплошную безотвальную обработку и формировать поперек склона противоэрозионные элементы.



Рисунок 1 - Структурная схема факторов, влияющих на процесс водной и технологической эрозии.

Конструктивно-технологическая схема орудия (рисунок 2) включает: плоскую раму 1 прямоугольной формы, на которой закреплены плоскорежущие рабочие органы 2, перед которыми на поперечном бруске установлены лемешные рабочие органы 3 с отвальной поверхностью. Регулировка глубины безотвальной обработки почвы и глубина срезания верхнего слоя почвы, со стерневыми остатками, устанавливается с помощью опорных колес 4 и регулировочных механизмов 7 и 8. При разворотах орудия, на краях поля, поворот лемешных органов 3 в горизонтальной плоскости осуществляется с помощью гидроцилиндра 5 и поперечной тяги 6.

Технологический процесс обработки почвы протекает следующим образом. Во время движения орудия поперек склона, лемешными органами 3, срезается верхний почвенный слой со стерневыми остатками, на глубину 5 – 7 см. Далее подрезанная почвенно-стерневая масса смещается лемешными органами 3, установленными под углом - β к направлению движения, в верхнюю часть обрабатываемого склона. При этом из перемещаемой массы, при ее сходе с рабочих органов, создаются противоэрозионные элементы, расположенные поперек склона. Одновременно с этим, плоскорежущими органами 2, производится сплошная безотвальная обработка почвы на глубину до 20 см.

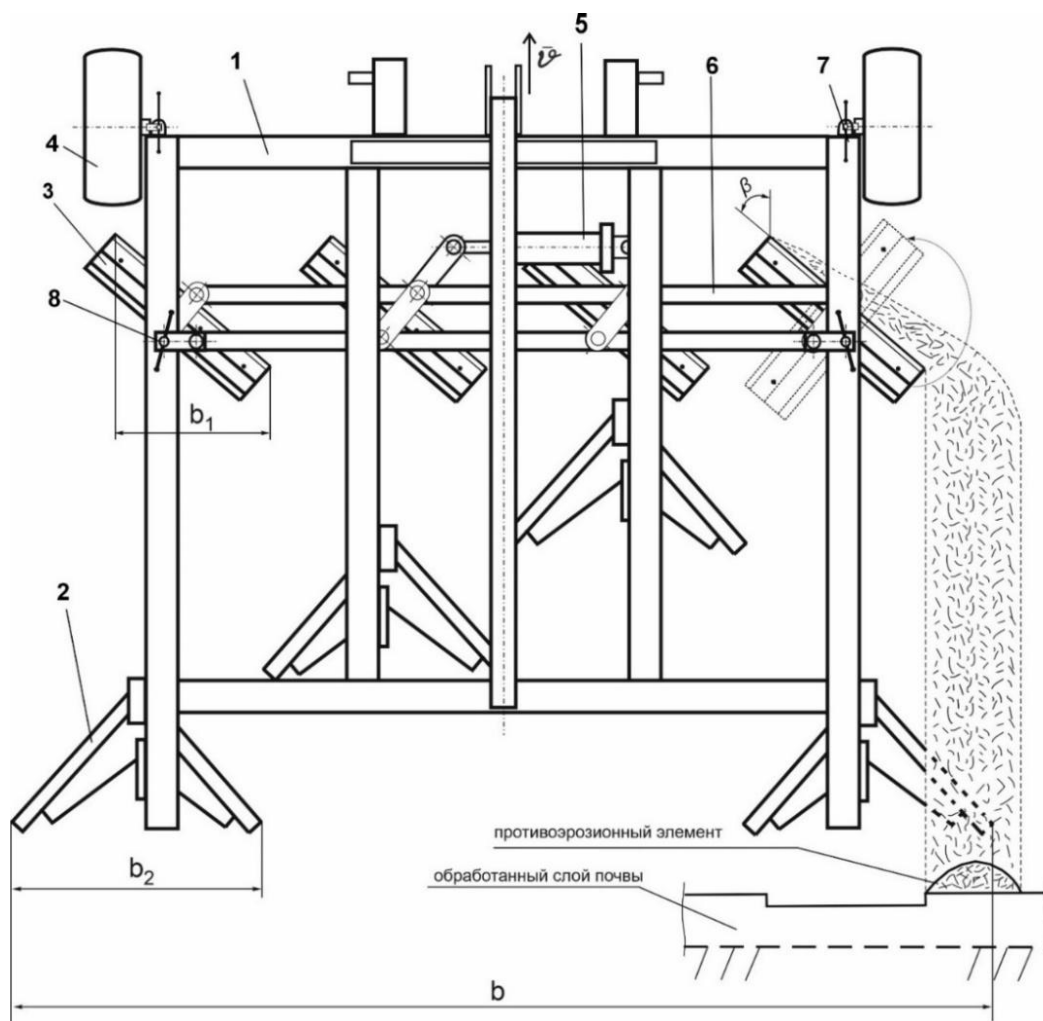


Рисунок 2 – конструктивно-технологическая схема экспериментальной установки, используемой в опытах.

На краях поля, с помощью гидроцилиндра 5 и поперечной тяги 6, лемешные органы поворачиваются в горизонтальной плоскости на 90° . Таким образом, при движении орудия в обратном направлении процесс повторяется, также производится сплошная обработка почвы и формирование противозэрозийных элементов из срезанного и смещенного верхнего почвенного слоя. Данный процесс обработки почвы, в результате смещения почвенного слоя в верхнюю часть склона, обеспечивает снижение технологической эрозии и выравнивание плодородного слоя по толщине.

В процессе формирования противозэрозийных элементов одним из основных требований является смещение верхнего слоя почвы постоянно вверх по склону. В связи с этим, необходимо теоретически обосновать возможность выполнения данного процесса на участках с поперечным уклоном поля до 8° .

Рассматривая работу орудия, движущегося с постоянной скоростью v_0 , поперек обрабатываемого склона величиной α видно, что на материальную частицу почвы массой m , смещаемую лемешным органом, действует пространственная система сил, представленная на рисунке 3.

В рассматриваемом случае абсолютным движением материальной частицы почвы, будет её перемещение по поверхности поля, находящейся перед лемешным рабочим органом, со скоростью $\bar{v}_a$.

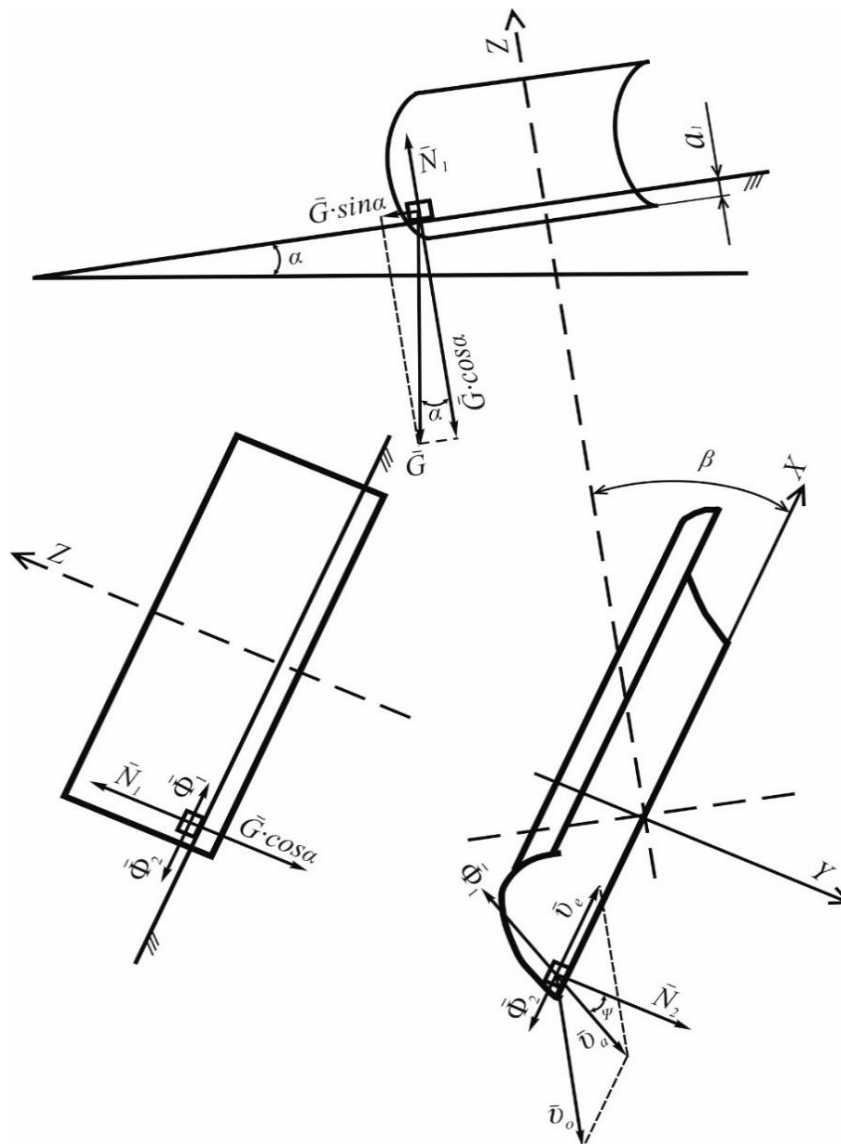


Рисунок 3 – Схема к изучению процесса перемещения материальной частицы почвы по поверхности лемешного органа.

Относительным движением данной частицы, будет её перемещение вдоль рабочей поверхности лемешного органа, с относительной скоростью $\bar{v}_e$.

Дифференциальное уравнение относительного движения материальной частицы почвы, в векторной форме имеет вид:

$$\frac{dv_e}{dt} = \bar{G} + \bar{N}_1 + \bar{N}_2 + \bar{\Phi}_1 + \bar{\Phi}_2, \quad (1)$$

где $\bar{G}$ - сила тяжести перемещаемой частицы почвы, Н;

m - масса перемещаемой материальной частицы почвы, кг;

g - ускорение свободного падения, м/с²;

$\bar{N}_1$ - вектор нормальной реакции, действующий со стороны необработанной поверхности участка, Н;

$\bar{N}_2$ - вектор нормальной реакции, действующий со стороны лемешного рабочего органа, Н;

$\bar{\Phi}_1$ - вектор силы трения частицы почвы по необработанной поверхности, расположенной перед лемешным органом, Н;

$\bar{\Phi}_2$ - вектор силы трения частицы почвы по поверхности лемешного рабочего органа, Н.

Подставив значения сил в полученное уравнение (1) и спроецировав данное уравнение на оси X, Y и Z, и проводя соответствующие преобразования, получено уравнение для определения относительной скорости движения частицы почвы, по рабочей поверхности лемешного органа.

$$v_e = [mg \cdot (\mu_{\text{вн}} \cdot \cos \alpha \cdot \sin \Psi - \sin \alpha \cdot \sin \beta - \mu_c \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta + \mu_{\text{вн}} \cdot \cos \alpha \cdot \cos \Psi)] \quad (2)$$

где $\mu_{\text{вн}}$ - коэффициент внутреннего трения срезанной почвенно-стерневой массы;

μ_c - коэффициент трения скольжения частицы почвы по металлической поверхности лемешного органа.

α - угол поперечного уклона поля, град.;

β - угол установки лемешных рабочих органов к направлению движения орудия, град.;

Ψ - угол трения перемещаемой почвенной частицы по рабочей поверхности лемешного органа, град.

Данное уравнение (2) решено с использованием программы. Анализ полученных результатов расчета, приведенных на графике, рисунок 4, позволяет сделать следующий вывод: при заданных параметрах основных факторов, $v_0=2,8$ м/с; $\mu_{\text{вн}}=0,9$; $\mu_c=0,83$; $m = 0,001$ кг, и углах установки лемешных органов $\beta=40...45^\circ$ перемещение срезанной массы и формирование противозрозионных элементов будет выполняться без нарушения технологического процесса. Относительная скорость смещения срезанной массы, на участках с уклоном 8° , будет снижаться до $2,6...2,67$ м/с.

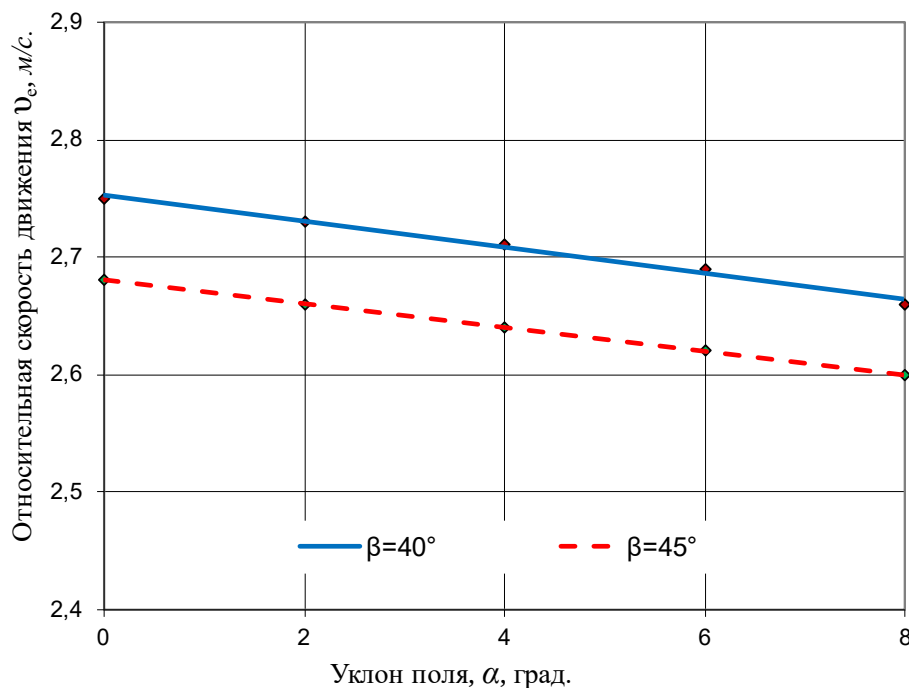


Рисунок 4 – Изменение скорости движения почвенной частицы по поверхности лемешного органа, при различной величине обрабатываемого склона - α и углах установки рабочего органа - β .

Разработана математическая модель позволяющая установить функциональную зависимость объема V_3 и основных размеров создаваемых противоэрозионных элементов (ширины нижнего основания b_3 и высоты h_3) от основных параметров рабочих органов орудия и режима их работы.

$$V_3 = \iiint_{V_3} d\chi dy dz = \int_{\chi_1}^{\chi_2} d\chi \int_{y_1}^{y_2} dy \int_0^{\chi^2 = -p(h_3 - c)} dz \quad (3)$$

Полученное уравнение (3) решено с помощью составленной программы. Данные, полученные в результате расчетов (рисунок 5), позволили установить оптимальные параметры рабочих органов для формирования противоэрозионных элементов с заданными параметрами (высота $h_3=0,12\ldots0,20$ м, ширина $b_3=0,20\ldots0,28$ м): ширина захвата лемешных органов $0,40\ldots0,45$ м; глубина срезания верхнего почвенного слоя со стерневыми остатками должна составлять $0,05\ldots0,072$ м.

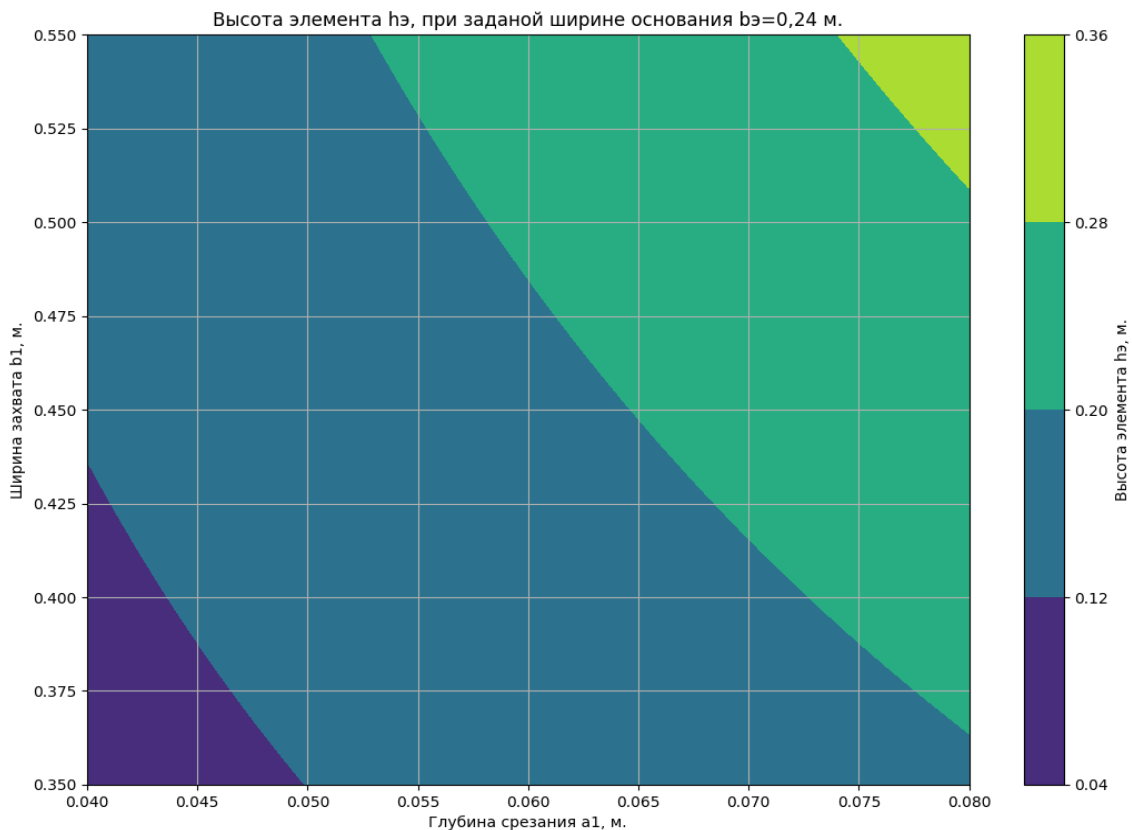


Рисунок 5 – Влияние рабочей ширины захвата b_1 лемешных органов и глубины срезания – a_1 почвенного слоя со стерней на основные размеры создаваемых противоэрозионных элементов b_3 и h_3

В результате того, что обработка почвы, выполняемая экспериментальным орудием, состоит из двух взаимосвязанных процессов, связанных с формированием противоэрозионных элементов и сплошного безотвального рыхления почвы, то общее тяговое сопротивление R , возникающее при работе орудия будет складываться из: тягового сопротивления от воздействия безотвальных рабочих

органов на почвенный пласт R_o и тягового сопротивления $R_{пр}$, возникающего от лемешных рабочих органов:

$$R = R_o + R_{пр}, \quad (4)$$

Для определения тягового сопротивления плоскорежущих рабочих органов использовали формулу академика В. П. Горячкина:

$$R_o = f \cdot (G_o + G_{пр}) + k_2 \cdot a_2 \cdot b_2 \cdot n_2, \quad (5)$$

где f - коэффициент сопротивления протаскиванию почвообрабатывающего орудия;

G_o - вес экспериментального орудия без лемешных органов, Н;

$G_{пр}$ - вес дополнительного приспособления, с лемешными органами, Н;

k_2 - удельное сопротивление почвы, возникающее при безотвальной обработке плоскорежущими лапами, Н/м²;

a_2 - глубина обработки почвенного пласта плоскорежущими органами, м;

b_2 - рабочая ширина захвата одной плоскорежущей лапы, м;

n_2 - количество плоскорежущих лап на раме орудия, шт.

При этом тяговое сопротивление лемешных рабочих органов, складывается из четырех слагаемых:

$$R_{п} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4, \quad (6)$$

где R_1 - сопротивление, возникающее при срезании лемешными рабочими органами верхнего слоя почвы со стерневыми остатками, Н;

R_2 - сопротивление, возникающее при смещении срезанного почвенно-стерневого слоя, в верхнюю часть рабочей поверхности лемешного органа, Н;

R_3 - сопротивление, возникающее при смещении срезанной почвенно-стерневой массы по необработанной поверхности поля, Н;

R_4 - сопротивление, возникающее при смещении почвенно-стерневой массы вдоль рабочей поверхности лемешного органа и схода смещаемой массы в создаваемые противоэрозионные элементы, Н.

$$R_1 = k_1 \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot n_1 \cdot \mu_1, \quad (7)$$

где k_1 - удельное сопротивление резанию, верхнего почвенно-стерневого слоя Н/м²;

a_1 - глубина срезания верхнего почвенного слоя со стерней, лемешными рабочими органами, м;

b_1 - рабочая ширина захвата лемешного рабочего органа, м;

n_1 - количество лемешных органов, установленных на раме орудия, шт.;

μ_1 - коэффициент, зависящий от вида и количества корневых остатков, находящихся в верхнем почвенном слое ($\mu_1 = 1,1 - 1,3$).

$$R_2 = Q_{нс} \cdot \mu_c \cdot g \cdot \cos \gamma \cdot \sin \beta \cdot n_1, \quad (8)$$

где $Q_{нс}$ - масса срезанного верхнего почвенного слоя со стерневыми остатками, смещаемого лемешным органом, Н;

μ_c - коэффициент трения скольжения срезанного почвенного слоя по рабочей поверхности лемешного органа равный 0,7...0,91;

g - ускорение свободного падения, м/с²;

Масса срезанной почвенно-стерневой смеси, сдвигаемой лемешным рабочим органом, определяется по выражению:

$$Q_{nc} = \frac{(h_{л}-a_1)^2 \cdot l_{л}}{2 \cdot \operatorname{ctg} \beta \cdot k_p} \cdot \rho_{nc} \quad (13)$$

a_1 - глубина подрезания верхнего почвенно-стерневого слоя почвы лемешным рабочим органом, м;

k_p - коэффициент разрыхления сдвигаемой почвенно-стерневой смеси, ($k_p \approx 1,1 \dots 1,2$);

Общее тяговое сопротивление экспериментального почвообрабатывающего орудия, оснащенного плоскорежущими лапами и дополнительным приспособлением с лемешными рабочими органами, равно:

$$R = f \cdot (G_o + G_{np}) + k_2 \cdot a_2 \cdot b_2 \cdot n_2 + n_1 \cdot (k_1 \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot \mu_1 + + Q_{nc} \cdot \mu_c \cdot g \cdot \cos \gamma \cdot \sin \beta + Q_{nc} \cdot g \cdot \mu_{вн} \cdot i \cdot \sin \beta + + Q_{nc} \cdot \mu_c \cdot g \cdot \cos \beta + S_{nc} \cdot \rho_{nc} \cdot v_e^2) \quad (14)$$

В третьей главе *«Программа и методика экспериментальных исследований»* представлена общая программа исследований, содержащая общие и разработанные частные методики, используемые при проведении научных исследований. Для изучения физико-механических свойств почвенно-стерневой смеси была использована лабораторная установка позволяющая определить коэффициент внутреннего трения и коэффициент трения скольжения изучаемой смеси по металлической поверхности рабочих органов. Были подобраны и использованы необходимые приборы и оборудование для изучения исходных условий, в которых проводились лабораторно-полевые опыты.

Проверка теоретических разработок и обоснование оптимальных параметров рабочих органов экспериментального орудия проводили на разработанной и изготовленной экспериментальной установке (рисунок 7). Конструкция установки, агрегируемая тракторами тягового класса 30...40 кН, позволяла изучать различные варианты рабочих органов путем их замены.

Агротехническая, агроэкологическая и энергетическая оценка противоэрозионной обработки и экспериментального орудия проводилась на различных агрофонах и режимах работы, на полях ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока». Лабораторно-полевые исследования проводились при разных значениях влажности и твердости почвы в соответствии с действующими отраслевыми стандартами.

Агроэкологическая оценка противоэрозионной обработки почвы, выполняемая экспериментальным орудием, определялась на стоковых площадках (рисунок 8), на участках с уклоном 3...5°. Эффективность противоэрозионной обработки, определялась по величине поверхностного стока воды и количеству потерянной почвы при смыве.



Рисунок 7 - Общий вид, экспериментального орудия с ресурсосберегающими рабочими органами.



Рисунок 8 - Стоковая площадка, оборудованная водосливом.

Производственные исследования экспериментального противоэрозионного орудия проводились в опытной станции «Аркадакская» Аркадакского района Саратовской области на основной обработке почвы.

Обработка результатов исследований проводилась на ПЭВМ с использованием стандартных программ MS Excel 2007 и MathCad 11.

В четвертой главе «результаты экспериментальных исследований и их анализ» представлены результаты исследования физико-механических свойств почвенно-стерневой смеси, из которой создаются противоэрозионные элементы.

Анализ результатов исследований показал, что внутренний коэффициент трения - $\mu_{вн}$ и коэффициент трения скольжения - μ_c по металлической поверхности исследуемых образцов почвы, в смеси со стерней озимой пшеницы и стерней проса, изменяются по параболической зависимости. При увеличении влажности почвенной смеси от 12,4 до 25,4%, значения коэффициента внутреннего трения образцов со стерней озимой пшеницы снижаются от 1,22 до 0,68, у образцов со стерней проса, значения данного коэффициента трения изменяются от 1,38 до 0,78.

Значения коэффициентов трения скольжения по металлической поверхности, при повышении влажности изучаемых образцов, в результате повышения липкости почвенной смеси, значительно возрастают, у образца со стерней озимой пшеницы от 0,43 до 0,82, у образца со стерней проса от 0,52 до 0,91.

Влияние угла крошения подрезающего лемеха и глубины срезания почвенного слоя со стерневыми остатками на технологические параметры создаваемых элементов проводилось при влажности почвы 18,5% и твердости 2,2 МПа. Результаты исследования представлены на рисунке 9.

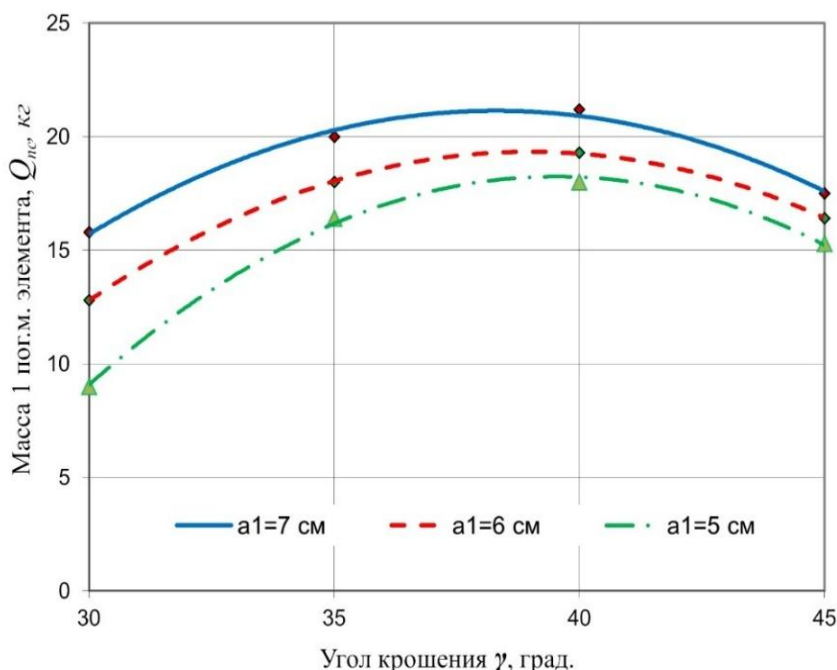


Рисунок 9 – Влияние угла крошения – γ и глубины срезания верхнего слоя почвы – a_1 на процесс создания противоэрозионных элементов

Полученные зависимости показывают, что при установке угла крошения $35...40^\circ$, масса 1 погонного метра создаваемых противоэрозионных элементов изменяется по параболической зависимости и возрастает до 17,5...21,2 кг. Увеличение глубины срезания стернового слоя почвы более 0,07 м приводит к значительному увеличению основных размеров создаваемых элементов, которые выходят за границы, установленные агротехническими требованиями. Кроме этого, неоправданно возрастают энергетические затраты. Анализ графических зависимостей показывает, что для создания противоэрозионных элементов с заданными параметрами глубина срезания почвенного слоя должна составлять 0,05...0,07 м, что полностью подтверждает значения, определенные расчетным путем.

Изучено влияние поступательной скорости движения орудия и конструкции рабочих органов на процесс формирования противоэрозионных элементов. Увеличение поступательной скорости орудия до 2,8 м/с, приводит к изменению формы и основных размеров создаваемого противоэрозионного микрорельефа (рисунок 10). При использовании лемешных рабочих органов с прямыми боковыми обрезами отвалов средняя высота создаваемых элементов микрорельефа – h_z , снижается на 20% с 0,175 до 0,14 м, а их ширина – b_z , увеличивается на 18,8%, с 0,22 до 0,26 м. По агротехническим требованиям эти показатели должны быть в пределах (высота $h_z = 0,12...0,20$ м, ширина $b_z = 0,20...0,28$ м).

У рабочих органов со скошенными боковыми обрезами, в результате более интенсивного отбрасывания срезанной почвенно-стерновой смеси, создаваемые элементы микрорельефа формируются более вытянутыми по ширине (до 0,31 м).

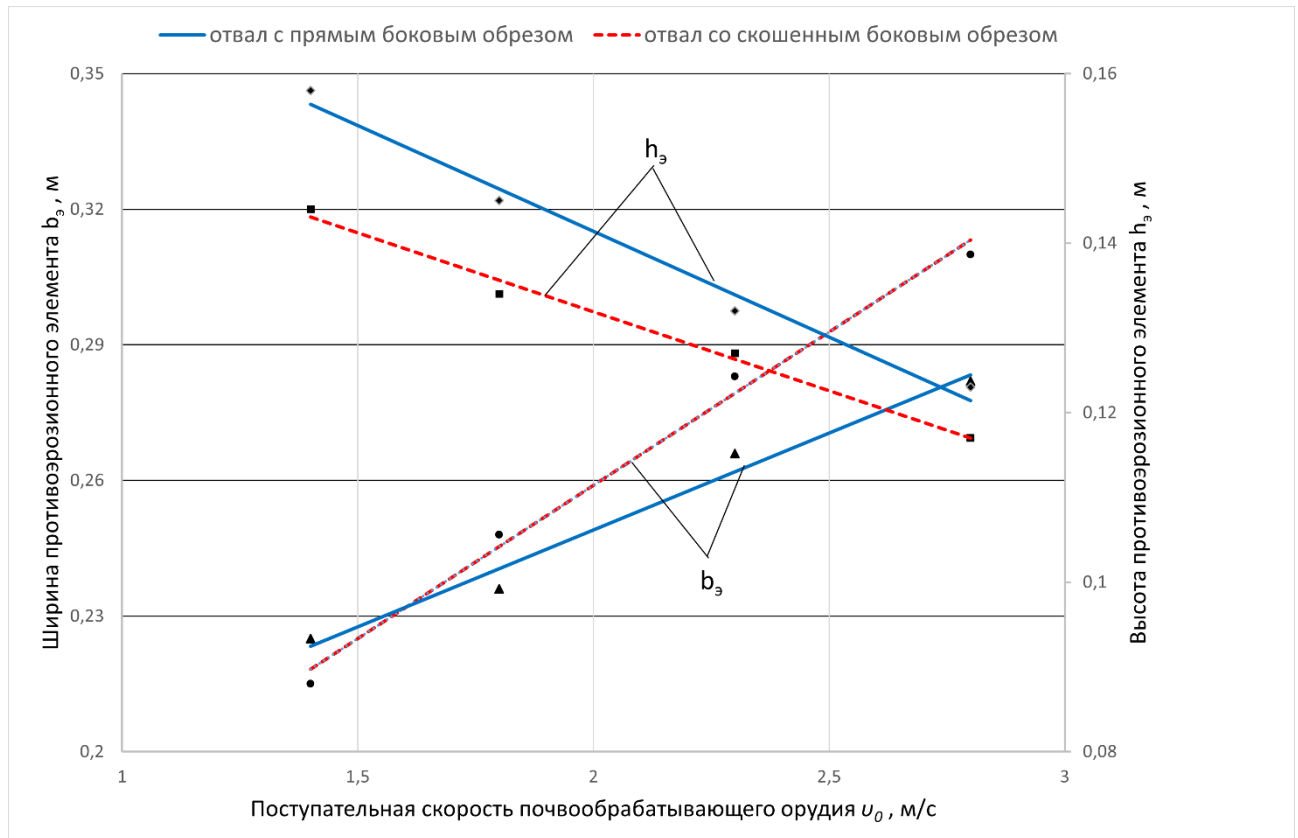


Рисунок 10 – Зависимость параметров противоэрозионных элементов (ширины нижнего основания - $b_э$ и высоты гребней - $h_э$) от формы отвальной поверхности рабочего органа и поступательной скорости движения орудия - v_0 .

Определено влияние угла установки (атаки) лемешных рабочих органов - β и величины поперечного уклона поля - α на процесс смещения срезанного почвенно-стернового слоя вверх по склону. Результаты исследований (рисунок 11) показывают, что независимо от величины поперечного уклона поля, при увеличении угла установки лемешных рабочих органов - β с 30° до 50° , смещение верхнего почвенного слоя с пожнивными остатками - Δl изменяется по линейной зависимости и возрастает с 0,25 до 0,375 метра. При установке угла $\beta = 40^\circ$ величина смещения срезанного почвенного слоя Δl , на склоне величиной $\alpha = 2^\circ$, составляет 0,33 метра. На склонах величиной $\alpha = 5$ и 8° , в результате дополнительного сопротивления и частичного осыпания массы, величина смещения почвенно-стернового слоя снижается на 6...12%, соответственно до 0,31...0,29 метра. Опытами установлено, что при значениях угла β меньше 40° , на участках с высоким содержанием пожнивных остатков (озимая пшеница, просо), отмечается неустойчивое заглубление лемешных органов. При значениях угла β больше 45° и влажности обрабатываемого слоя почвы свыше 24%, имеет место залипание рабочей поверхности рабочих органов.

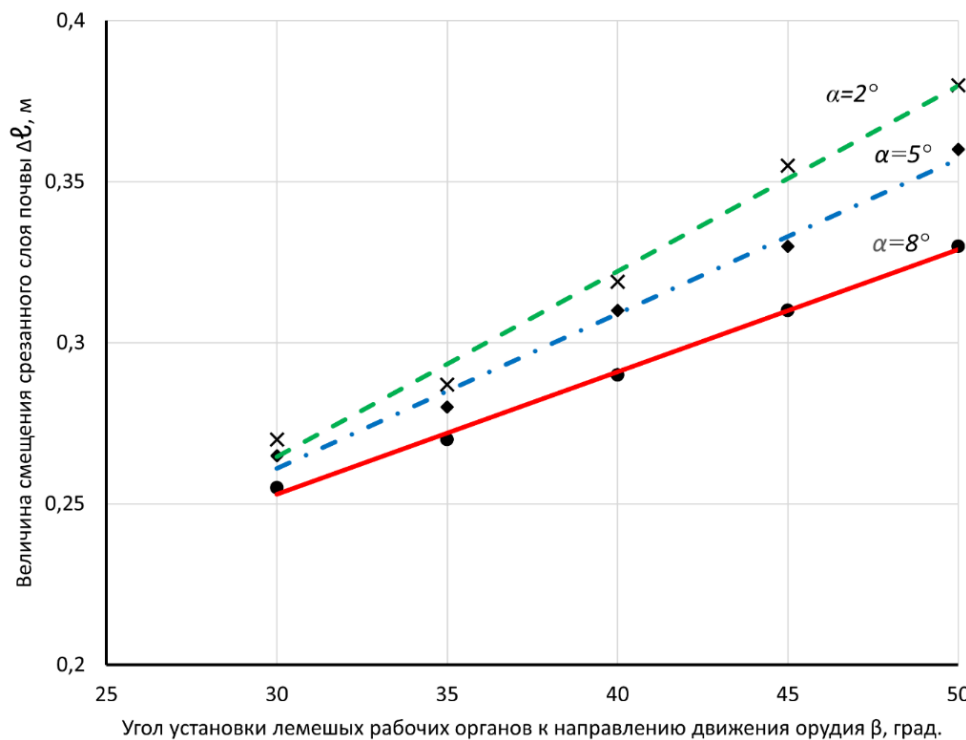


Рисунок 11 - Зависимость величины смещения срезанного верхнего слоя почвы - $\Delta \ell$, от угла атаки лемешных органов - β и величины обрабатываемого склона - α

Энергетические исследования орудия проводились на участке с поперечным уклоном $3...4^\circ$. Рельеф участка, выровненный с однородной по гранулометрическому составу почвой. Средняя глубина обработки почвы плоскорежущими лапами составляла 16,8 см, глубина срезания верхнего почвенного слоя лемешными рабочими органами 5,8 см. Влажность почвы при проведении исследований составляла 18,5%, твердость 1,9 МПа. Анализ полученных зависимостей, представленных на рисунке 12 показывает, что с увеличением поступательной скорости орудия, оснащенного лемешными органами и плоскорежущими лапами от 1,5 м/с до 2,8 м/с, тяговое сопротивление изменяется по линейной зависимости и возрастает на 7,5%, с 32,0 до 34,4 кН. При обработке почвы без формирования противоэрозионных элементов, тяговое сопротивление орудия возрастает на 6,9% с 30,2 до 32,3 кН.

Экспериментально определено, что при выполнении технологического процесса основной обработки почвы, энергоемкость лемешных органов при формировании противоэрозионных элементов, увеличивает общее тяговое сопротивление орудия не более чем на 7%. Проведенные энергетические исследования показывают, что экспериментальные зависимости, полученные в опытах (рисунок 12), согласуются со значениями, полученными при расчетах, по формулам (5 и 14). По своим тяговым характеристикам экспериментальное противоэрозионное орудие соответствует тракторам тягового класса 30...40 кН.

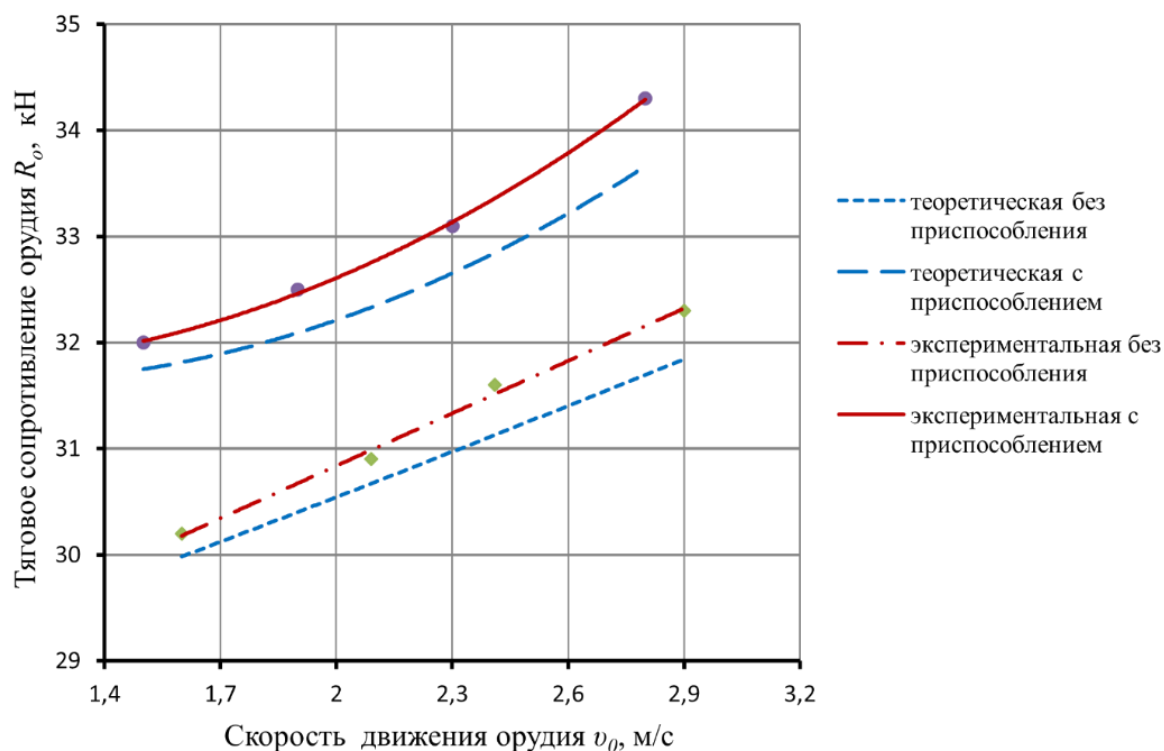


Рисунок 12 - Влияние поступательной скорости экспериментального орудия - v_0 на его энергетические показатели - R_0

Агроэкологическая оценка изучаемых обработок почвы оценивалась по величине поверхностного стока воды и потерям плодородной почвы с гектара (таблица 1).

Величина снежного покрова на изучаемых обработках почвы составляла 25...30 см. Запас воды в снеге по вариантам колебался от 64 до 73 мм. При этом наибольший сток воды был отмечен на мелкой безотвальной обработке 8,2 мм, что выше на 5,6% чем на контрольной отвальной обработке. Наибольшую потерю воды со стоком на безотвальной обработке можно объяснить тем, что на ней сформировался наибольший снежный покров, содержащий 73 мм воды и в тоже время образовался более плотный пахотный слой с недостаточной инфильтрационной способностью. Но в результате отсутствия на поверхности пашни растительных остатков, потери плодородной почвы на варианте с отвальной обработкой были наибольшими и составили 0,7 т/га.

Таблица 1 – Зависимость агроэкологических показателей от вида основной обработки почвы (в период снеготаяния, уклон участка $\gamma=3-5^\circ$ южной экспозиции)

Вид обработки почвы.	Высота снега, см.	Сток талых вод, мм.	Коэффициент стока.	Смыв почвы, т/га.	Запасы влаги в метровом слое почвы, мм.
Отвальная обработка на 20...22 см	24,9	7,8	0,12	0,7	144,3
Противоэрозионная обработка на 16 см	29,5	4,7	0,07	0,2	158,2
Безотвальная обработка на 16 см	30,4	8,2	0,112	0,5	147,6

Запасы продуктивной влаги на участках с противоэрозионной обработкой, к моменту посева яровой пшеницы, были выше на 11...14 мм в сравнении с контрольными вариантами и составили 158,2 мм.

В пятой главе *«производственная проверка экспериментального почвообрабатывающего орудия и экономическая эффективность его применения»* представлены результаты исследования надежности выполнения технологического процесса противоэрозионной обработки в реальных условиях данного хозяйства, определение его производительности и расхода топлива на гектар. Опыты проводились по стерне овса (рисунки 13 и 14), уклон участка поля составлял 2...4°, влажность почвы в слое 0...30 см не превышала 17,6%, твердость почвы 2,6 МПа.

Анализ полученных результатов показал, что экспериментальное орудие на рабочих скоростях 2,1...2,6 м/с (7,5...9,7 км/ч) обеспечивает равномерную глубину основной обработки почвы, равную - 16,7 см, со среднеквадратическим отклонением не превышающим $\pm 1,3$ см. Средняя глубина срезания верхнего слоя почвы, лемешными органами, составила - 5,6 см. Крошение обработанного пласта почвы было удовлетворительное, при этом количество фракции почвы размером до 5 см составляло не менее 62,0%. Одновременно с обработкой почвы, при проходе орудия, на поверхности пашни из срезанной почвенной смеси создавались противоэрозионные элементы. Форма и размеры создаваемых, поперек господствующего склона, противоэрозионных элементов были в пределах, определенных техническим заданием, и составляли (средняя ширина 0,26 м и высота 0,14 м).



Рисунок 13 - Общий вид участка, обработанного экспериментальным орудием (агрофон - стерня овса).



Рисунок 14 - Экспериментальное орудие в работе с трактором МТЗ-1523.

Производительность экспериментального орудия, за час основного времени, составила 2,5 га. При этом погектарный расход дизельного топлива составил 8,1 кг/га.

Применение разработанного почвообрабатывающего орудия показало, что на склонах до 4° к моменту посева ячменя в результате сокращения потерь воды со стоком, запасы продуктивной влаги составили 147 мм, что превышало на 16 мм запасы влаги на участках обработанных производственным агрегатом АПК-3. В итоге урожайность ячменя, на противоэрозионной обработке, за счет сохранения почвенной влаги и элементов питания составила 21,4 ц/га, что на 10,9% (2,1 ц/га) превышала урожайность, полученную на контроле.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании проведенного анализа, литературных и патентных источников обоснован технологический процесс основной обработки почвы, позволяющий сократить процесс водной и технологической эрозии, за счет создания на поверхности пашни противоэрозионных элементов из, смещенного в верхнюю часть склона, почвенного слоя со стерней.

2. Полученные теоретические зависимости позволяют определить функциональную зависимость технологических размеров, создаваемых противоэрозионных элементов микрорельефа, от конструктивных размеров и режима работы разработанных рабочих органов орудия (выражение 2.27), оказывающих влияние на его энергетические показатели (выражения 2.33; 2.43. Проанализирован процесс формирования элементов микрорельефа, создаваемого в результате срезания и смещения, в верх по склону, почвенного слоя со стерневыми остатками (выражение 2.13).

3. Разработана конструктивно-технологическая схема экспериментального противоэрозионного орудия к трактору тягового класса 30...40 кН (патент РФ на изобретение №2728129), позволяющая выполнять основную безотвальную обработку почвы, на глубину до 20 см, с одновременным созданием противоэрозионных элементов, с целью снижения водной и технологической эрозии на участках с уклоном до 8°.

4. Проведенными исследованиями определены рабочие параметры разработанных рабочих органов орудия создающих противоэрозионный микрорельеф: конструкция – лемешные рабочие органы с вертикальными боковыми обрезами на отвальной поверхности; угол установки подрезающих лемехов к продольной оси орудия $\beta = 40...45^\circ$; угол крошения подрезающих лемехов $\gamma = 35...40^\circ$; глубина срезания верхнего почвенного слоя со стерневыми остатками $a_1 = 0,050...0,070$ м; рабочая ширина захвата лемешного органа $b_1 = 0,40...0,45$ м; радиус отвальной поверхности рабочего органа $r_0 = 0,16$ м; поступательная скорость противоэрозионного орудия v_0 до 2,8 м/с. Использование почвообрабатывающего орудия, с данными параметрами, позволит надежно выполнять разработанный процесс противоэрозионной обработки почвы, при влажности пахотного слоя от 12 до 25%. Определены оптимальные параметры создаваемых противоэрозионных элементов: высота элементов микрорельефа $h_э = 12...0,14$ м; ширина нижнего основания $b_э = 0,24...0,28$ м; расстояние между соседними гребнями создаваемых элементов 0,69...0,74 м; величина смещения срезанного верхнего почвенного слоя, при каждой обработке почвы, производится на расстояние $\Delta l = 0,29...0,32$ м. Проведенные энергетические исследования показали, что энергоемкость разработанных лемешных органов при их работе, не выше 7% от тягового сопротивления экспериментального орудия в целом. На основании полученных тяговых характеристик определено, что для эффективной работы, экспериментальное орудие должно агрегатироваться тракторами тягового класса 30...40 кН.

5. Применение экспериментального орудия на основной обработке, за счет создания на обработанной поверхности противоэрозионных элементов, снижает поверхностный сток воды на 39...44% и потери плодородной почвы в 2,4...3,5 раза.

6. Экономическая эффективность усовершенствованного процесса основной обработки почвы на склонах и противоэрозионного орудия для его выполнения, в результате сокращения эрозионных процессов и увеличения урожайности полевых культур составляет: по яровой пшенице 3541 руб./га, по просу 3490 руб./га, по ячменю 3243 руб./га.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

Предлагаемый технологический процесс основной обработки почвы и орудие для его выполнения рекомендуется использовать на склоновых землях с гумусным горизонтом не менее (8...10 см), на участках с уклоном до 8°, при влажности почвы до 25% и твердости до 3,5 МПа, с массой пожнивных остатков на поверхности обрабатываемого поля не превышающей 450 г/м².

Весенне-полевые работы, проводимые на полях, обработанных по предлагаемой технологии, проводятся в той же последовательности и сроки, не отличающиеся от обычной традиционной технологии. Покровное боронование выполняют серийными боронами БЗТС-1 в два следа. Последующая предпосевная культивация проводится серийными культиваторами со стрелчатými лапками. Посев полевых культур проводят сеялками с лаповыми или дисковыми сошниками. Движение данных агрегатов должно выполняться под углом к проведенной основной обработке почвы.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Продолжить работы по совершенствованию конструктивно-технологической схемы и рабочих органов почвообрабатывающего орудия с целью внесения в создаваемые противоэрозионные элементы минеральных удобрений и биологических препаратов, типа СТИМЕКС, ускоряющих процесс разложения пожнивных остатков. Проведенные доработки позволят увеличить содержание нитратного азота в почве, являющегося одним из основных элементов питания, оказывающего влияние на урожайность возделываемых культур.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ:

1. Соколов Н. М. Влияние конструктивных и режимных параметров рабочих органов на энергетические показатели почвообрабатывающего орудия / Н. М. Соколов, С. Б. Стрельцов, П. А. Покусаев // Аграрный научный журнал. – 2024. – № 5. – С. 147-153.
2. Соколов Н. М. Результаты испытаний орудия для мелкой обработки почвы на склоновых землях / Н. М. Соколов, С. Б. Стрельцов, В. В. Худяков, П. А. Покусаев // Нива Поволжья. – 2023. – № 2 (66).
3. Соколов Н. М. Математическое моделирование в исследовании технологического процесса создания противоэрозионного микрорельефа на склоновых

землях / Н. М. Соколов, **П. А. Покусаев**, С. В. Чумакова // Аграрный научный журнал. – 2023 г. – №12. – С. 167-170.

4. *Соколов Н. М.* Влияние конструктивных параметров почвообрабатывающего орудия на образование противоэрозионного микрорельефа / Н. М. Соколов, **П. А. Покусаев**, С. В. Чумакова // Аграрный научный журнал. – 2023 г. – № 5. – С. 160-165.

5. *Соколов Н. М.* Совершенствование технологического процесса обработки почвы, снижающего водную и технологическую эрозию на склоновых землях / Н. М. Соколов, С. Б. Стрельцов, В. В. Худяков, С. А. Либерцев, **П. А. Покусаев** // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 11-2. – С. 299-304.

Патенты:

6. Патент РФ № 2728129, МПК А01В 13/06, А01В 49/06. Орудие для противоэрозионной обработки почвы / Соколов Н.М., Стрельцов С.Б., Соколов В.Н., Либерцев С.А., **Покусаев П.А.**; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока". – № 2019123076; заявл. 17.07.2019; опубл. 28.07.2020, Бюл. № 22.

Публикации в других изданиях:

7. *Покусаев, П. А.* Орудия для ресурсосберегающей почвозащитной обработки почвы / **П. А. Покусаев**, Н. М. Соколов, С. Б. Стрельцов, В. В. Худяков, И. Н. Кораблёва, С. А. Либерцев // В сборнике: Экология, ресурсосбережение и адаптивная селекция (посвящается 145-летию со дня рождения Дояренко А.Г.) Сборник докладов 3-й Всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов с международным участием. – 2019. – С. 186-189.

8. *Соколов, Н. М.* Новое орудие для компенсационной обработки почвы на склоновых землях / Н. М. Соколов, С. Б. Стрельцов, В. В. Худяков, В. П. Графов, С. А. Либерцев, **П. А. Покусаев** // Аграрный вестник Юго-Востока. – 2018. – № 2 (19). – С. 25-27.

9. *Соколов, Н. М.* Совершенствование технологического процесса обработки почвы на склонах / Н. М. Соколов, С. Б. Стрельцов, В. В. Худяков, С. А. Либерцев, **П. А. Покусаев**, В. П. Графов // Аграрный вестник Юго-Востока. – 2018. – № 3 (20). – С. 47-49.

10. *Соколов, Н. М.* Результаты исследований повообрабатывающего орудия для мелкой обработки почвы / Н. М. Соколов, С. Б. Стрельцов, **П. А. Покусаев**. / Материалы XXXV Международной научно-технической конференции имени В.В. Михайлова «Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники»/ – Саратов, – 2022. Выпуск 35. – С. 336-341.

11. *Соколов, Н. М.* Ресурсосберегающая обработка почвы на склоновых землях / Н. М. Соколов, С. Б. Стрельцов, В. В. Худяков, **П. А. Покусаев** // В сборнике: Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия. Сборник докладов XVIII Международной научно-практической конференции. ФГБНУ «Курский ФАНЦ». – 2023. – С. 288-292.

12. *Соколов, Н. М.* Накопление осенне-зимних осадков как основа получения стабильных урожаев / Н. М. Соколов, С. Б. Стрельцов, В. В. Худяков, **П. А. Покусаев** // В сборнике: «Инновационное техническое обеспечение агропромышленного комплекса». Материалы научно-технической конференции с международным участием имени А.Ф. Ульянова. – Саратов: ФГБОУ ВО Вавиловский университет. – 2023. – С. 215-219