



**Ашабоков Хачим Хазраилович**

**ПАРАМЕТРЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ ПАХОТНО-ФРЕЗЕРНОГО  
АГРЕГАТА**

Специальность 05.20.01 – технологии и средства механизации  
сельского хозяйства

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Нальчик – 2020

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова» (ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ)

Научный руководитель: **Апажев Аслан Каральбиевич,**  
доктор технических наук, доцент,  
Заслуженный деятель науки Кабардино-Балкарской Республики

Официальные оппоненты: **Старовойтов Сергей Иванович,**  
доктор технических наук, доцент, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», кафедра «Общенаучные и специальные дисциплины», и.о. профессора  
**Щилов Владимир Николаевич,**  
кандидат технических наук, доцент, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», кафедра «Тракторы, автомобили и эксплуатация автотранспортных средств», и.о. заведующего

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО Казанский ГАУ**  
(г. Казань)

Защита состоится «30» апреля 2020 года в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.038.08 при ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ по адресу: 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13, Кубанский ГАУ, корпус факультета механизации, ауд. 345.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ <http://kubsau.ru/>.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г., размещен на официальном сайте ВАК при Министерстве образования и науки России <https://vak.minobrnauki.gov.ru> и на сайте ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ <http://kubsau.ru/>.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
доктор технических наук, профессор  
Фролов Владимир Юрьевич



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Проблема основной и предпосевной обработки почвы особенно актуальна для фермерских и крестьянских хозяйств Северо-Кавказского региона, располагающих комплексами технических средств, в основном состоящими из малопроизводительных средств механизации. В результате их многократных проходов по полю повышаются энергетические затраты, уплотняется почва, возникают и развиваются эрозионные процессы.

Данная проблема может быть решена с использованием пахотных агрегатов с активными рабочими органами.

В настоящее время разработаны и испытаны различные пахотные агрегаты с активными рабочими органами. Однако исследования, направленные на совершенствование их конструкций проведены в недостаточном объеме. Не в полной мере изучена совместная работа лемешно-отвального плуга и фрезерного рабочего органа активного действия и их влияние на измельчение почвенных глыб, заделки растительных остатков и выравнивание поверхности почвы.

В связи с этим возникает необходимость разработки пахотно-фрезерного агрегата, обеспечивающего совмещение вспашки, рыхления почвы, измельчения и заделки растительных остатков с выравниванием поверхности почвы при снижении тягового сопротивления.

Научные исследования проводились в период с 2016 по 2019 гг. по тематике НИР ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ «Разработка и внедрение в условиях КБР экологически безопасных, энергосберегающих, противозерозионных технологий возделывания сельскохозяйственных культур и обоснование направления развития производственно-технологического обеспечения механизированных процессов в АПК» в рамках «Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 гг.» (Постановление Правительства РФ от 14.07.2012 г. №717), научно-исследовательской работы по заказу МСХ РФ по теме «Проведение исследований и разработка мероприятий, обеспечивающих повышение плодородия почв в условиях склоновых эродированных черноземных почв Юга России» (номер государственной регистрации ААА-А17-117120620151-1).

**Степень разработанности темы исследования.** Научной основой для совершенствования существующих и разработки новых почвообрабатывающих машин с активными рабочими органами служат исследования В.П. Горячкина, В.А. Желиговского, Н.Г. Березина, А.Д. Далина, А.С. Добышева, Б.Д. Докина, Я.П. Лобачевского, С.И. Старовойтова, С.И. Камбулова, В.И. Медведева, А.Ю. Несмияна, С.В. Оськина, И.М. Панова, Б.Ф. Тарасенко, Е.И. Трубилина, М.Н. Чаткина, В.Н. Щирова, Ю.А. Шехихачева, А.К. Апажева и др.

Данная работа дополняет эти исследования с позиции обоснования пахотно-фрезерного агрегата, одновременно выполняющего вспашку, рыхление почвы, измельчение и заделку растительных остатков, а также выравнивание поверхности почвы исходя из заданных показателей по качеству работы.

**Рабочая гипотеза** – повышение качества предпосевной обработки почвы может быть достигнуто путем установления оптимальных параметров и режимов работы пахотно-фрезерного агрегата.

**Цель исследования** – обоснование конструктивно-технологических параметров и режимов работы пахотно-фрезерного агрегата, обеспечивающего повышение качества предпосевной обработки почвы и снижение тягового сопротивления.

**Объекты исследования** – технологический процесс обработки почвы, опытный образец пахотно-фрезерного агрегата.

**Предмет исследования** – закономерности процесса взаимодействия фрезерного рабочего органа с почвой.

**Задачи исследования:**

1. Обосновать конструктивно-технологическую схему пахотно-фрезерного агрегата.
2. Установить рациональные конструктивно-технологические параметры пахотно-фрезерного агрегата.
3. Исследовать процесс взаимодействия фрезерного рабочего органа с почвой.
4. Оптимизировать основные параметры и режимы работы пахотно-фрезерного агрегата с учетом требований к качеству работы.
5. Провести полевые испытания опытного образца пахотно-фрезерного агрегата.
6. Определить экономическую эффективность применения пахотно-фрезерного агрегата.

**Методы исследования.** Теоретические исследования проведены с использованием законов математического анализа и теоретической механики. При проведении экспериментальных исследований применялись методы планирования многофакторного эксперимента. Обработка результатов исследований произведена с использованием методов математической статистики.

**Научную новизну работы составляют:**

- конструктивно-технологическая схема пахотно-фрезерного агрегата, позволяющая совмещать вспашку с рыхлением почвы, измельчением и заделкой растительных остатков, а также выравниванием поверхности почвы;
- методика расчета конструктивно-технологических параметров фрезерного рабочего органа;
- аналитические зависимости, описывающие процесс взаимодействия фрезерного рабочего органа агрегата с почвой, позволяющие определить:

угол установки ножей фрезы; силы, действующие на нож фрезы при измельчении почвенных глыб; высоту расположения барабана фрезы относительно обрабатываемой поверхности; траекторию полета частицы почвы в зависимости от ее физико-механических свойств и параметров фрезерного рабочего органа; угол отрыва почвы от боковой поверхности ножа фрезы; рациональные параметры и режимы работы пахотно-фрезерного агрегата;

- математические модели в виде уравнений регрессии, позволяющие установить оптимальные параметры и режимы работы пахотно-фрезерного агрегата;

- зависимости качественных показателей крошения почвы и тягового сопротивления от конструктивных параметров и режимов работы пахотно-фрезерного агрегата.

Новизна технического решения подтверждена патентом РФ на полезную модель № 168218.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Теоретическую значимость работы представляют: методика определения конструктивно-технологических параметров фрезерного рабочего органа; аналитические зависимости, описывающие процесс взаимодействия фрезерного рабочего органа с почвой, позволяющие обосновать основные конструктивно-технологические параметры пахотно-фрезерного агрегата.

Практическую значимость представляют: соотношение между параметрами и режимами работы пахотно-фрезерного агрегата, обеспечивающее требуемое качество крошения почвы и минимальное тяговое сопротивление; параметры и режимы работы пахотно-фрезерного агрегата.

**На защиту выносятся следующие основные положения:**

- конструктивно-технологическая схема пахотно-фрезерного агрегата;
- аналитические зависимости, описывающие процесс взаимодействия фрезерного рабочего органа с почвой, позволяющие обосновать основные конструктивно-технологические параметры пахотно-фрезерного агрегата;
- результаты экспериментальных исследований по определению оптимальных параметров и режимов работы пахотно-фрезерного агрегата;
- зависимости качественных показателей крошения почвы и тягового сопротивления от конструктивных параметров и режимов работы пахотно-фрезерного агрегата.

**Реализация результатов исследований.**

Опытный образец пахотно-фрезерного агрегата прошел производственные испытания и внедрен в ООО НП «Шэджэм» Чегемского района КБР и учебно-производственном комплексе ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ (г. Нальчик, КБР).

Результаты исследований внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ.

**Апробация работы.** Основные результаты исследований доложены и получили одобрение на Международных научно-практических конференциях «Актуальные проблемы и инновационные технологии в отраслях АПК» (г. Нальчик, 2016 г.), «Последние тенденции в области науки и образования» (г. Душанбе, 2017 г.), «Актуальные вопросы современных научных исследований» (г. Минск, 2017 г.), «Инновации в современной науке» (г. Прага, 2017 г.), «Проблемы и перспективы развития науки и образования в XXI веке» (г. София, 2017 г.), «Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации» (г. Кишинев, 2017 г.), «Инновационное развитие современной науки: проблемы и перспективы» (г. Астана, 2017 г.), «Вопросы науки и образования: теоретические и практические аспекты» (г. Прага, 2017 г.), «Мировые научно-технологические тенденции социально-экономического развития АПК и сельских территорий» (г. Волгоград, 2018 г.), Межвузовской научно-практической конференции сотрудников и обучающихся аграрных вузов СКФО «Инновации в агропромышленном комплексе» (г. Нальчик, 2017 г.).

Разработанный пахотно-фрезерный агрегат отмечен дипломом и золотой медалью Российской агропромышленной выставки «Золотая осень» (г. Москва, 2017 г.), дипломом I степени Международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал» (г. Ставрополь, 2019 г.).

**Публикации.** По материалам исследований опубликовано 17 печатных работ, в том числе 3 в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ. Получен патент РФ на полезную модель. Общий объем публикаций составляет 28,2 п.л., из них 15,8 п. л. принадлежит автору.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Общий объем работы – 127 страниц машинописного текста, 17 таблиц, 61 рисунок, 12 приложений. Библиография включает 150 наименований, из которых 8 на иностранных языках.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность исследований, сформулированы цель и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость исследований, представлены основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** рассмотрены состояние вопроса обработки почвы пахотными агрегатами с активными рабочими органами: приведены основные требования к обработке почвы, проанализированы особенности технологического процесса основной обработки почвы и плугов с активными рабочими органами, проведен обзор научных исследований по изучению параметров и режимов работы почвообрабатывающих машин с активными рабочими органами.

Анализ опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ по разработке и применению комбинированных агрегатов для основной

обработки почвы показал, что для использования пахотных агрегатов с пассивными рабочими органами необходимы большие полосы для разворота агрегатов, при этом они имеют большие тяговые сопротивления и не обеспечивают требуемое качество подготовки средне- и тяжелосуглинистых почв к посеву.

В настоящее время разработаны и испытаны различные пахотные агрегаты с активными рабочими органами: с роторными рыхлителями, установленными спереди плуга; с боку и вдоль корпуса плуга; с вращающимися отвалами. Использование плугов с активными рабочими органами позволит не только крошить почвенные глыбы, но измельчать и заделывать в почву растительные остатки, а также совместить две технологические операции: основную и предпосевную обработку почвы.

Основными их недостатками являются сложность механизма привода рабочих органов, большая металлоемкость, невозможность работать на почвах с каменистыми включениями и на тяжелосуглистых почвах. Исследования, посвященные совместной работе плуга и фрезерного рабочего органа, обеспечивающее формирование семенного ложе в соответствии с агротехническими требованиями в результате одного прохода агрегата, проведены не в полном объеме.

В связи с этим возникла необходимость поиска путей совершенствования пахотных агрегатов и разработки пахотно-фрезерного агрегата.

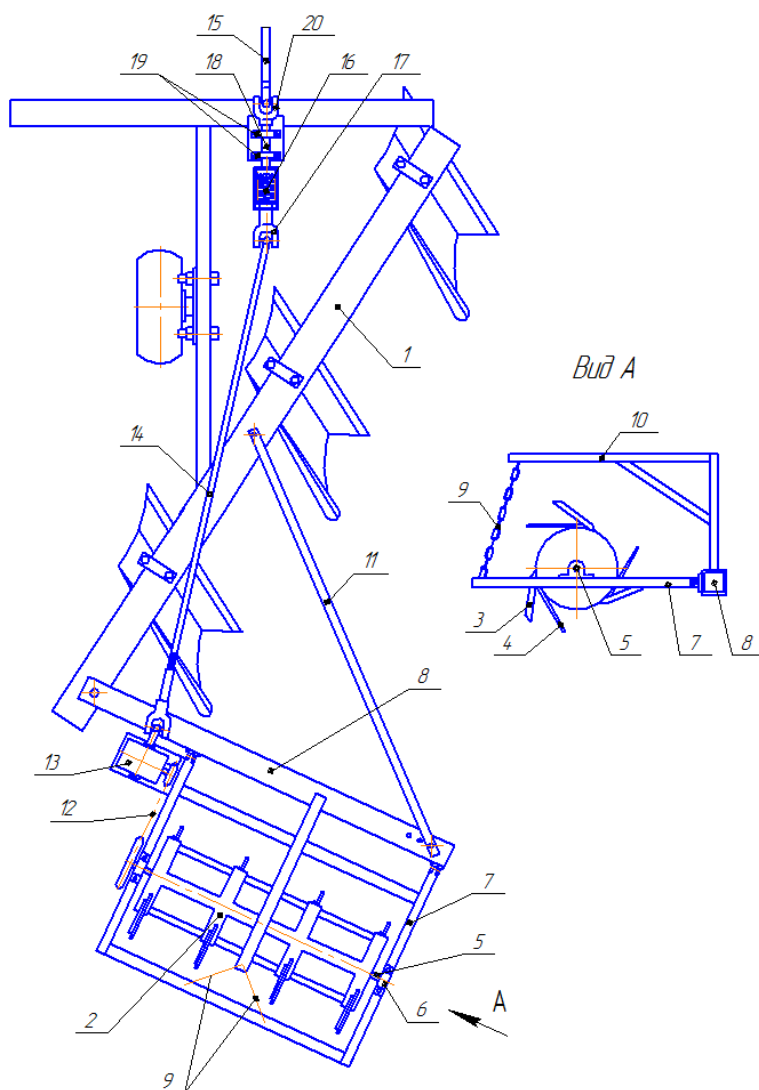
В соответствии с вышеизложенным, сформулированы цель и задачи исследований.

Во **второй главе** приведена конструктивно-технологическая схема пахотно-фрезерного агрегата (рис. 1) и исследован процесс его работы.

Процесс работы пахотно-фрезерного агрегата следующий. Процесс обработки почвы начинается с включения рабочей передачи. Режущие 3 и ударные 4 ножи внедряются во вспаханную плужной частью агрегата почву на глубину, соответствующую глубине высева семян. При этом ударные ножи 4 разрушают большие почвенные комки, а режущие ножи 3 обеспечивают измельчение почвенных комков и растительных остатков. Одновременно боковые поверхности режущих ножей 3 в результате поступательного передвижения перемещают разрыхленную почву в сторону и заравнивают борозду, образованную корпусом плуга. Тем самым осуществляется выравнивание почвенной поверхности. Почвенные комки, которые прошли через режущие 3 и ударные 4 ножи, попадают в межсекционное пространство фрезы 2, и там, соударяясь друг с другом, дополнительно крошатся и равномерно распределяются по поверхности почвы. Благодаря этому обрабатывается исключительно посевной слой почвы.

Преодоление встречающиеся препятствий осуществляется путем срабатывания предохранительного механизма 16. При этом телескопический карданный вал 14 отсоединяется от ведущего карданного вала 15, благодаря

чему фреза 2 отсоединяется от ВОМ энергетического средства. В результате срабатывания предохранительного механизма 16 рама 7 с фрезой 2, переместившись вверх, преодолевает препятствие.



1 – рама плуга; 2 – измельчитель; 3 – режущий нож; 4 – ударный нож; 5 – вал; 6, 19 – опорные подшипники качения; 7 – рама измельчителя; 8 – несущая балка; 9 – гибкая связь; 10 – подвеска; 11 – металлическая планка; 12 – цепная передача; 13 – конический редуктор; 14, 15 – телескопический карданный вал; 15 – ведущий карданный вал; 16 – предохранительный механизм; 17, 20 – крестовины; 18 – промежуточный вал

Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема пахотно-фрезерного агрегата

В данной главе также обоснованы основные конструктивно-технологические параметры фрезерного рабочего органа. Учитывая, что глубина заделки растительных остатков должна быть ниже глубины формирования посевного слоя, диаметр барабана принят равным 40...53 см. С учетом агротехнических и энергетических требований, специфических условий работы пахотно-фрезерного агрегата и на основании результатов расчета количество ножей принято равным 3.

Значение угла атаки устанавливается также с учетом агротехнических требований и условий работы. Также следует учесть, что с увеличением угла атаки происходит перемещение почвенного слоя на большее расстояние, происходит большее деформирование почвы, повышается интенсивность перемешивания, улучшается оборачиваемость.

Длина ножа фрезы определяется в зависимости от глубины обработки почвы (рис. 2 и 3).



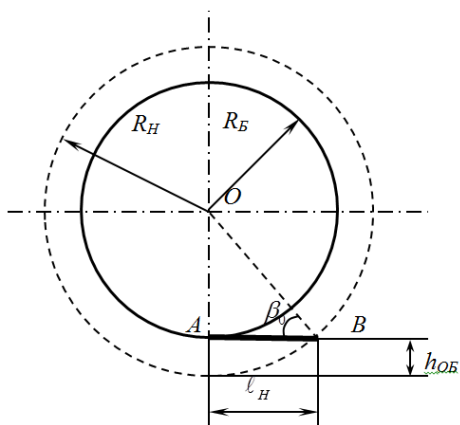


Рисунок 2 – Схема к установлению зависимости длины ножа фрезы от глубины обработки почвы

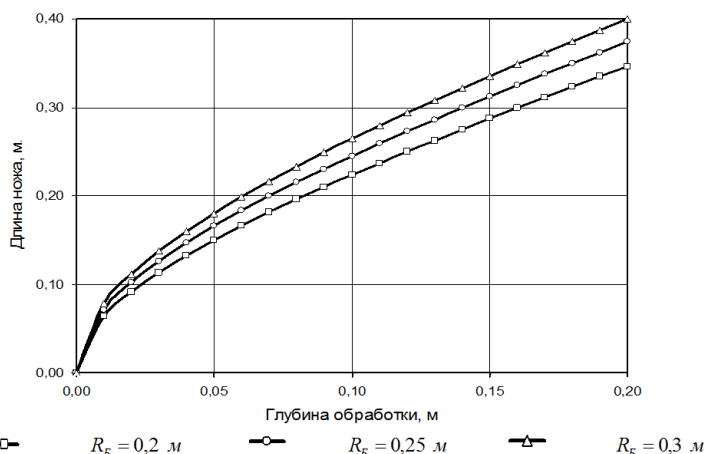


Рисунок 3 – Зависимость длины ножа от глубины обработки почвы при различных радиусах барабана

Из рисунка 2 видно, что длина ножа будет равна:

$$\ell_H = \sqrt{|OB|^2 - |OA|^2}, \quad (1)$$

где

$$|OB| = R_H = R_B + h_{OB}, \quad (2)$$

$$|OA| = R_B, \quad (3)$$

где  $R_H$  - радиус крайней точки ножа фрезы, м;  $R_B$  - радиус барабана фрезы, м;  $h_{OB}$  - глубина обработки почвы, м.

С учетом (2) и (3) выражение (1) после некоторых преобразований примет вид:

$$\ell_H = h_{OB} \sqrt{\frac{D_B}{h_{OB}} + 1}, \quad (4)$$

где  $D_B$  - диаметр барабана фрезы, м;  $h_{OB}$  - глубина обработки почвы, м.

Угол между поверхностью ножа и радиусом его вращения  $\beta_0$  (рис. 2) определится как:

$$\beta_0 = \arctg\left(\frac{R_B}{\ell_H}\right) \quad (5)$$

Графическое изображение зависимости длины ножа от глубины обработки приведено на рисунке 3 (при различных диаметрах барабана фрезы).

Согласно выражению (4) и рисунка 3, при глубине предпосевной обработки почвы 5...10 см длину ножа принимаем в пределах 0,15...0,26 м.

Ширину обрабатываемой полосы одной секцией устанавливаем с использованием рисунка 4:

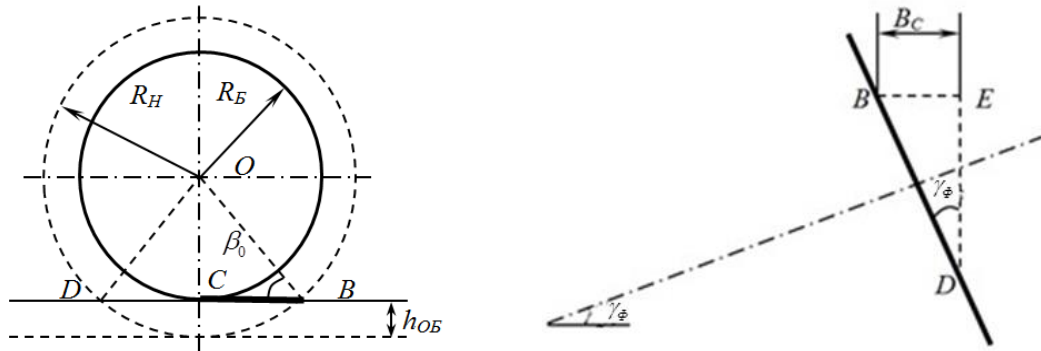


Рисунок 4 – Схема к установлению ширины обрабатываемой полосы одной секцией ножей

$$B_C = |BD| \sin \gamma_\phi = (D_B + 2h_{ОБ}) \cos \beta_0 \sin \gamma_\phi, \quad (6)$$

где  $\gamma_\phi$  – угол атаки фрезы, град.

Ширина захвата фрезы рассчитывается по выражению:

$$B_B = t_c (z_c - 1), \quad (7)$$

где  $t_c$  – шаг секции ножей, м;  $z_c$  – количество секций ножей, м.

Шаг секции ножей равен:

$$t_c = (D_B + 2h_{ОБ}) \cos \beta_0 \operatorname{tg} \gamma_\phi, \quad (8)$$

Количество секций ножей определится по выражению:

$$z_c = 1 + \frac{B_{Пл}}{(D_B + 2h_{ОБ}) \cos \beta_0 \operatorname{tg} \gamma_\phi}, \quad (9)$$

где  $B_{Пл}$  – ширина захвата плуга, м.

Частота вращения барабана фрезы определяется по выражению:

$$n = \frac{60V_{ОКР}}{\pi D_B}. \quad (10)$$

где  $V_{ОКР}$  – окружная скорость барабана фрезы, м/с;

Величину подачи на нож устанавливаем по выражению:

$$S_H = \frac{60V_{П}}{n \cdot z}. \quad (11)$$

где  $V_{П}$  – поступательная скорость рабочего органа, м/с;  $n$  – частота вращения барабана,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $z$  – число ножей, шт.

В результате обоснования основных конструктивно-технологических параметров фрезерного рабочего органа установлено: частота вращения –  $240 \dots 370 \text{ мин}^{-1}$ ; величина подачи –  $0,01 \dots 0,016$  м; число ножей – 3 шт.; диаметр барабана –  $0,4 \dots 0,53$  м; глубина обработки почвы –  $0,10$  м; длина ножа –  $0,15 \dots 0,26$  м; ширина захвата –  $1,05$  м.

Процесс измельчения почвенных глыб (рис. 5) происходит под действием следующих сил:  $P_p$  – сопротивления резанию почвы;  $P_o$  – обжатия;  $P_c$  – сопротивления сжатия слоя фаской лезвия.

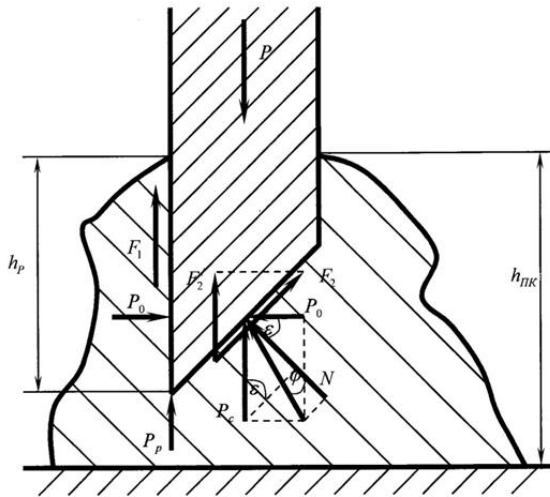


Рисунок 5 – Схема к исследованию процесса измельчения почвенных глыб

Фаска лезвия испытывает действие силы:

$$N = P_C \sin \varepsilon + P_O \cos \varepsilon . \quad (12)$$

где  $\varepsilon$  – угол фаски лезвия ножа, град.

Значение силы трения, возникающей под действием  $N$ , рассчитывается согласно зависимости:

$$F_2 = N f_{HK} . \quad (13)$$

где  $f_{HK} = \operatorname{tg} \varphi_{HK}$  – коэффициент трения в системе «почва-нож».

Используя угол трения, запишем:

$$N = \sqrt{P_O^2 + P_C^2} \cos \varphi_{HK} . \quad (14)$$

Действие силы  $P_O$  приводит к возникновению силы  $F_1$ , подобной  $F_2$ :

$$F_1 = P_O f_{HK} . \quad (15)$$

Вертикальная проекция силы  $F_2$  будет равна:

$$F_2' = F_2 \cos \varepsilon . \quad (16)$$

После некоторых преобразований получим:

$$F_2' = f_{HK} (0,5 P_C \sin 2\varepsilon + P_O \cos^2 \varepsilon) . \quad (17)$$

Необходимо, чтобы значение критической силы, которая приложена к ножу, соответствовало сумме проекций всех сил, которые действуют в вертикальном направлении:

$$P = P_p + P_c + F_1 + F_2' . \quad (18)$$

Отсюда:

$$P = \delta \sigma_p + \frac{E h_p^2}{2 h_{p \max}} \left[ \operatorname{tg} \varepsilon + f_{HK} \sin^2 \varepsilon + \mu (f_{HK} + \cos^2 \varepsilon) \right] , \quad (19)$$

где  $\delta$  – коэффициент, характеризующий остроту лезвия;  $\sigma_p$  – разрушающее контактное напряжение, МПа;  $E$  – модуль Юнга, Н/м<sup>2</sup>;  $h_p$  – глубина внедрения ножа в почвенную глыбу, м;  $\mu$  – коэффициент Пуассона.

Величина угла установки ножа определится с учетом рисунка 6 и сил, приложенных в точке  $B$  согласно рисунку 5.

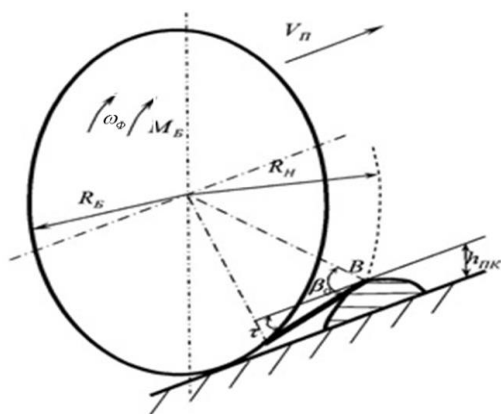


Рисунок 6 – Схема к определению угла установки ножа

Спроецируем силы, действующие на нож фрезы при измельчении почвенных глыб на соответствующие координатные оси:

$$\sum X_{F_i} = 0; P_x - F_{HK_x} - F_{ПК_x} + N_x = 0, \quad (20)$$

$$\sum Y_{F_i} = 0; F_{HK_y} + F_{ПК_y} - P_y = 0, \quad (21)$$

$$\sum Z_{F_i} = 0; F_{HK_z} + F_{ПК_z} - P_z + N_z = 0, \quad (22)$$

где  $P_x, P_y, P_z$  – силы резания, Н;  $F_{ПК_x}, F_{ПК_y}, F_{ПК_z}$  – силы трения на границе «комков почвы – поверхность почвы», Н;  $F_{HK_x}, F_{HK_y}, F_{HK_z}$  – силы трения на границе «рабочий орган – комков почвы», Н;  $N_x, N_y$  – силы нормальной реакции комка почвы, Н.

В результате решения уравнений (20)...(22) получим:

$$k_1 \sin \tau + k_2 \cos \tau = 0, \quad (23)$$

где

$$k_1 = \cos \beta_0 \operatorname{tg} \varphi_{ПК} \cos \gamma_\phi + \sin \beta_0, \quad k_2 = \cos \beta_0 - \operatorname{tg} \varphi_{ПК} \cos \gamma_\phi \sin \beta_0, \quad (24)$$

где  $\varphi_{ПК}$  – угол трения на границе «комков почвы – поверхность почвы», град.

После несложных преобразований из зависимости (23) получим:

$$k_2 \operatorname{tg}^2 \frac{\tau}{2} - 2k_1 \operatorname{tg} \frac{\tau}{2} - k_2 = 0. \quad (25)$$

Решением уравнения (25) является выражение, которое позволяет установить значение угла установки ножа:

$$\tau = 2 \operatorname{arctg} \left( \frac{\sin \beta_0 + \cos \beta_0 \cos \gamma_\phi \operatorname{tg} \varphi_{ПК} + \sqrt{1 + \cos^2 \gamma_\phi \operatorname{tg}^2 \varphi_{ПК}}}{\cos \beta_0 - \sin \beta_0 \cos \gamma_\phi \operatorname{tg} \varphi_{ПК}} \right). \quad (26)$$

При  $R_B = 0,2$  м,  $\gamma_\phi = 25^\circ$  и  $h_{OB} = 0,1$  м получим, что угол установки ножа равен  $15^\circ$ .

Угол установки ножа определяет высоту расположения барабана рабочего органа относительно обрабатываемой поверхности (рис. 7 и 8):

$$h_B = (R_B + h_{OB}) \sin(\beta_0 - \tau), \quad (27)$$

где  $R_B$  – радиус барабана, м.

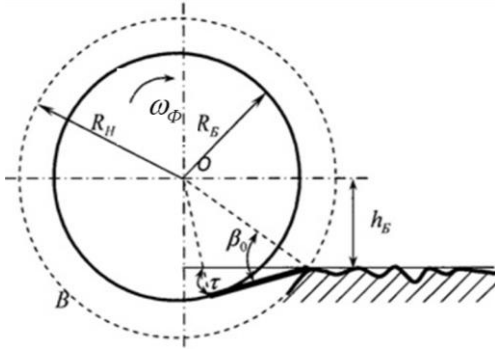


Рисунок 7 – Схема к установлению высоты расположения барабана фрезы относительно обрабатываемой поверхности  $h_B$

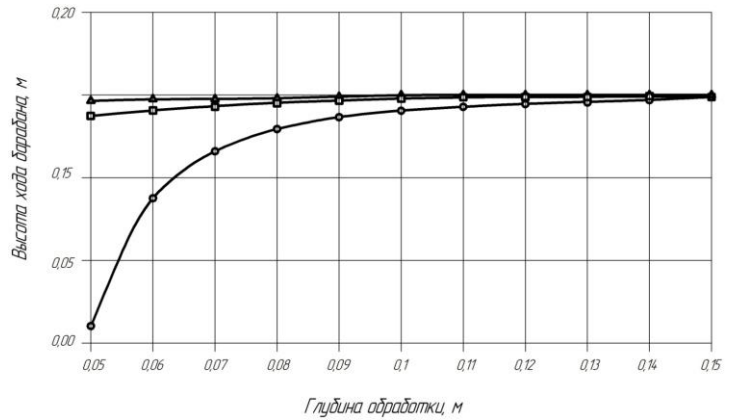


Рисунок 8 – Зависимость высоты расположения барабана относительно поверхности почвы от глубины обработки ( $\gamma_\phi = 25^\circ$ ).

В ходе теоретических исследований получена система уравнений, описывающая траекторию полета почвенной частицы с учетом физико-механических свойств почвы и параметров пахотно-фрезерного агрегата:

$$\begin{cases} X = \frac{V_o}{\lambda} \left[ 1 - \frac{1 - \lambda \cos \varepsilon}{\sqrt{1 + \lambda^2}} (\cos \varepsilon + \lambda \cos 2\varepsilon) \right] t - (R_B + h_{OB}) \sin \varepsilon \\ Y = \frac{V_o}{\sqrt{1 + \lambda^2}} \sin \varepsilon (1 - \lambda \cos \gamma_\phi) t + (R_B + h_{OB}) \sin \gamma_\phi \\ Z = \frac{V_o}{\sqrt{1 + \lambda^2}} \sin \varepsilon (\cos \varepsilon + \lambda \cos 2\varepsilon) t - \frac{g}{2} t^2 - (R_B + h_{OB}) \cos \varepsilon \end{cases}, \quad (28)$$

где  $V_o$  – окружная скорость крайней точки ножа, м;  $\lambda$  – кинематический параметр;  $t$  – текущее время, с;  $\varepsilon$  – угол отрыва почвенной частицы от боковой поверхности ножа, м, равный (рис. 9):

$$\varepsilon = 2 \arctg \left[ \frac{\sqrt{\omega_\phi^4 R_H^2 \cos \gamma_\phi \operatorname{ctg} \gamma_\phi + g^2}}{\omega_\phi^2 R_H \cos \gamma_\phi - g} \right], \quad (29)$$

где  $\omega_\phi$  – угловая скорость вращения рабочего органа,  $\text{с}^{-1}$ ;  $R_H$  – радиус крайней точки ножа, м;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м}/\text{с}^2$ .

Расчеты по выражению (29) показали, что  $\varepsilon = 25 \dots 30^\circ$ .

Проведенные теоретические исследования позволили установить рациональные значения основных параметров разработанного пахотно-фрезерного агрегата, которые оказывают определяющее влияние на процесс

его работы: скорость поступательного перемещения 1,5...2,0 м/с; угол атаки фрезерного рабочего органа 20...30°; угловая скорость вращения рабочего органа 20...25 с<sup>-1</sup>.

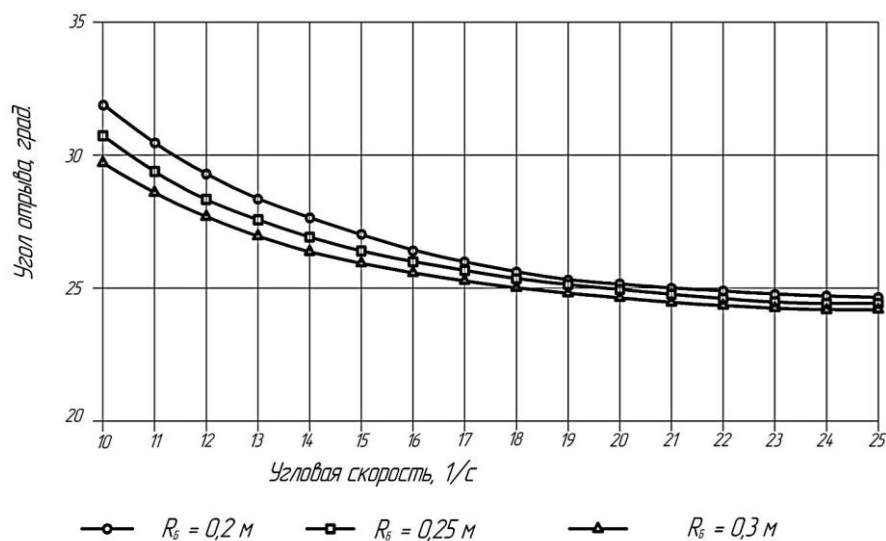


Рисунок 9 –  
Зависимость угла отрыва почвенной частицы почвы от угловой скорости вращения барабана на ( $h_{об} = 0,1$  м и  $\gamma_B = 25^\circ$ )

Величину тягового сопротивления пахотно-фрезерного агрегата определяем по выражению:

$$R_T = R_X + R_B + R_{II}, \quad (30)$$

где  $R_X$  – тяговое сопротивление плуга, Н;  $R_B$  – сопротивление перекачиванию барабана фрезерного рабочего органа, Н;  $R_{II}$  – сопротивление, определяемое рельефом участка, Н.

Сопротивление перекачиванию барабана фрезерного рабочего органа  $R_B$  определяем по выражению:

$$R_B = f_M G_B, \quad (31)$$

где  $f_M$  – коэффициент, характеризующий сопротивление перекачивания барабана;  $G_B$  – вес технологического груза, Н.

Сопротивление, определяемое рельефом участка рассчитываем по формуле

$$R_{II} = \pm(G + G_{фрО} + 0,75G_B) \cdot \sin \alpha, \quad (32)$$

где  $G$  – вес трактора, Н;  $G_{фрО}$  – вес фрезерного рабочего органа, Н;  $\alpha$  – угол подъема, град.

Зависимость для установления значения приведенного тягового сопротивления пахотно-фрезерного агрегата запишется в виде:

$$R_{np} = R_m + R_{BOM}, \quad (33)$$

где  $R_{BOM}$  – сопротивление BOM (Н), которое равно:

$$R_{BOM} = 3,6(N_X + N_R) \frac{\eta_{MT}}{V_P} \eta_{BOM}, \quad (34)$$

где  $N_x$  – мощность холостого хода, кВт;  $N_p$  – мощность на обработку почвы, кВт;  $V_p$  – скорость передвижения пахотно-фрезерного агрегата, м/с;  $\eta_{MT}$  – КПД, учитывающий механические потери в трансмиссии;  $\eta_{ВОМ}$  – КПД вала отбора мощности.

Мощность, которая необходима для осуществления обработки почвы пахотно-фрезерным агрегатом, рассчитывается по выражению:

$$N = N_{ПЕР} + N_{ОБР} + N_{ТР} + N_{ПОД}, \quad (35)$$

где  $N_{ПЕР}$  – мощность на перемещение агрегата, кВт;  $N_{ОБР}$  – мощность на обработку почвы, кВт;  $N_{ТР}$  – мощность на преодоление трения в передачах, кВт;  $N_{ПОД}$  – мощность на подталкивание агрегата.

Таким образом, получены аналитические зависимости, позволяющие определить рациональные технологические параметры пахотно-фрезерного агрегата: скорость передвижения 5,76...7,2 км/ч; угол установки фрезы 20...30°, угловая скорость вращения барабана 20...25 с<sup>-1</sup>. При этих значениях тяговое сопротивление предлагаемого пахотно-фрезерного агрегата составит 14 кН.

В третьей главе представлены методика, результаты экспериментальных исследований и их анализ. Эксперименты проводились для проверки результатов теоретических исследований, установления степени влияния параметров разрабатываемого агрегата на основные показатели технологического процесса крошения почвы и тяговое сопротивление, а также оптимизации конструктивно-режимных параметров агрегата. Исследования показали, что наибольшее влияние на качество крошения почвы и тяговое сопротивление агрегата оказывают скорость движения агрегата, угловая скорость вращения фрезы и угол ее установки.

Общий вид предлагаемого агрегата представлен на рисунке 10.



Рисунок 10 –  
Пахотно-фрезерный  
агрегат в работе

Опыты проводились по плану Бокса-Бенкина. Выбранные факторы и уровни их варьирования представлены в таблице.

Таблица – Основные факторы и уровни их варьирования

Факторы Значение	Скорость движения агрегата, км/ч			Угловая скорость вращения фрезы, с <sup>-1</sup>			Угол установки фрезы, град		
	Кодированное (безразмерное)	X <sub>1</sub>			X <sub>2</sub>			X <sub>3</sub>	
-1		0	+1	-1	0	+1	-1	0	+1
Натуральное	V <sub>П</sub> , км/ч			ω <sub>Ф</sub> , с <sup>-1</sup>			γ <sub>Ф</sub> , град		
	6,5	7,1	7,7	15	20	25	0	15	30

В результате проведения исследований и обработки экспериментальных данных получены следующие уравнения регрессии:

- критерий оптимизации – качество крошения  $K_{кр}$ :

- кодированный вид:

$$Y_{K_{кр}} = 91,133 - 2,6175X_1 + 0,3463X_2 + 5,3888X_3 + 0,6025X_1X_2 - 0,568X_1X_3 - 8,4716X_1^2 - 5,2291X_2^2 - 8,0791X_3^2. \quad (30)$$

- натуральный вид:

$$K_{кр} = -1140,9 + 326,724V_{П} + 7,0099\omega_{Ф} + 1,8842\gamma_{Ф} + 0,2008V_{П}\omega_{Ф} - 0,0631V_{П}\gamma_{Ф} - 23,532V_{П}^2 - 0,2092\omega_{Ф}^2 - 0,0359\gamma_{Ф}^2; \quad (31)$$

- критерий оптимизации – тяговое сопротивление  $P_T$ :

- кодированный вид:

$$Y_{P_T} = 14,1333 + 0,3888X_1 - 0,9962X_2 - 2,225X_3 + 0,165X_1X_2 + 0,143X_1X_3 + 4,3084X_1^2 + 3,3584X_2^2 + 4,3809X_3^2; \quad (32)$$

- натуральный вид:

$$P_T = 686,65 - 170,63V_{П} - 5,9632\omega_{Ф} - 0,8449\gamma_{Ф} + 0,055V_{П}\omega_{Ф} + 0,0158V_{П}\gamma_{Ф} + 11,9678V_{П}^2 + 0,1343\omega_{Ф}^2 + 0,0195\gamma_{Ф}^2. \quad (33)$$

Проверка по критерию Фишера показала, что полученные уравнения адекватны.

Определены оптимальные значения основных параметров пахотно-фрезерного агрегата, обеспечивающие максимум качества крошения почвы и минимум тягового сопротивления: скорость движения агрегата 7,0...7,07 км/ч, угловая скорость вращения фрезы 20,1...20,7 с<sup>-1</sup>, угол установки фрезы 19<sup>0</sup>...20<sup>0</sup>. При этих значениях качество крошения почвы составляет 92,3%, тяговое сопротивление – 13,8 кН.

Построены поверхности откликов (а) и двумерные сечения (б), характеризующие зависимость качества крошения почвы и тягового сопротивления от основных параметров и режимов работы пахотно-фрезерного агрегата (рис. 11 и 12).

Сравнительные испытания проводились на опытно-производственном участке ООО НП «Шэджем» Чегемского района Кабардино-Балкарской



Республики (рис. 10). Предлагаемая технология основной и предпосевной обработки почвы с использованием пахотно-фрезерного агрегата (МТЗ-82+ПЛН-3-35) с фрезерным рабочим органом сравнивалась с существующей технологией, предполагающей использование пахотного агрегата (МТЗ-82+ПЛН-3-35), дисковой бороны (МТЗ-82 + БДМ-2,4-2Н) и культиватора (МТЗ-82+КПС-4У).

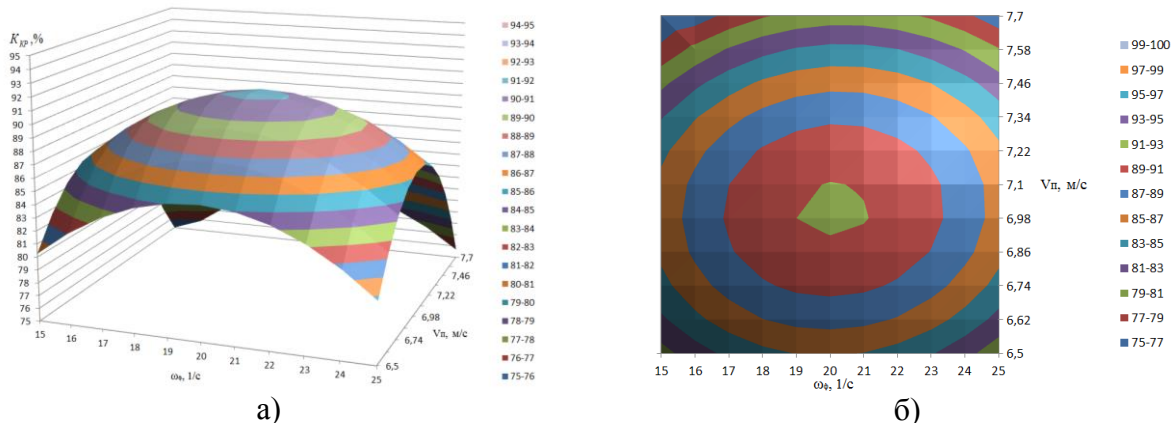


Рисунок 11 – Поверхность отклика (а) и двумерные сечения (б) зависимости качества крошения почвы от скорости передвижения агрегата и угловой скорости вращения фрезы при угле наклона ножа фрезы  $\gamma_{\phi} = 15^{\circ}$

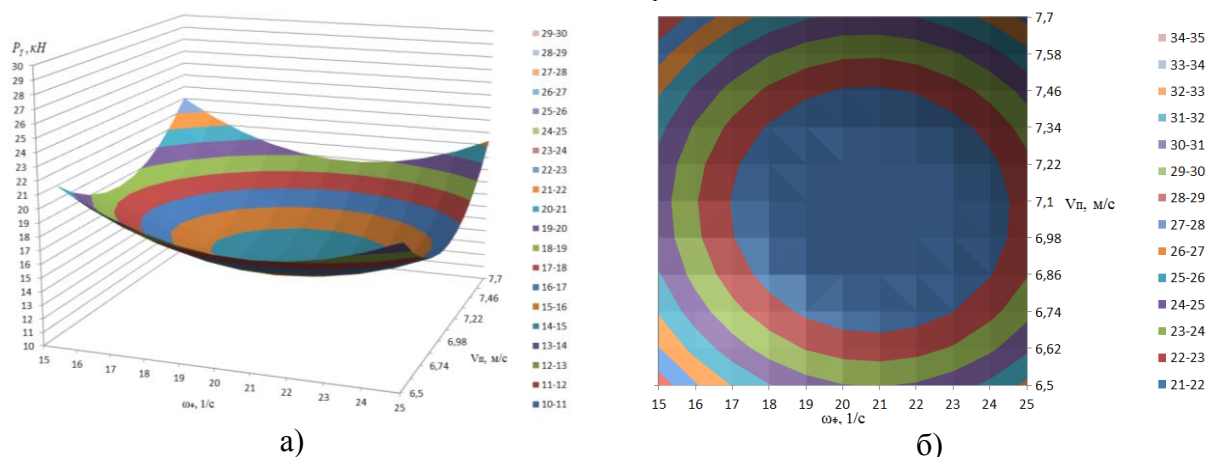


Рисунок 12 – Поверхность отклика (а) и двумерные сечения (б) зависимости тягового сопротивления от скорости передвижения агрегата и угловой скорости вращения фрезы при угле наклона ножа фрезы  $\gamma_{\phi} = 15^{\circ}$

Оценка агрофизических свойств почвы произведена по плотности сложения и пористости. Структурный состав оценивали в соответствии с количеством почвенных агрегатов размером  $> 0,025 \text{ м}$ ,  $0,025 \dots 0,001 \text{ м}$  и  $< 0,001 \text{ м}$ . Использование пахотно-фрезерного агрегата обеспечило плотность почвы в горизонте  $0 \dots 0,1 \text{ м}$  в среднем  $1,42 \text{ т/м}^3$ ,  $0,1 \dots 0,2 \text{ м}$  –  $1,51 \text{ т/м}^3$ , т.е. ниже на  $12,6 \dots 14,8\%$ .

Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют о том, что использование пахотно-фрезерного агрегата способствовало повышению пористости почвы на  $24,5 \dots 26,1\%$ .

В результате исследования структурного состава почвы установлено, что при использовании пахотно-фрезерного агрегата обеспечивается

заметное улучшение структуры почвы. К примеру, количество почвенных агрегатов размером 0,025...0,001 мм увеличилось на 22,4...35,1%. Благодаря совмещению операций существенно (в 2,1...5,4 раза) снизилось количество пылеватой фракции.

В результате исследования гребнистости почвы в результате применения предлагаемого пахотно-фрезерного агрегата установлено, что она удовлетворяет агротехническим требованиям (менее 0,02 м).

В **четвертой главе** приведены результаты технико-экономической оценки применения пахотно-фрезерного агрегата в технологическом процессе основной и предпосевной обработки почвы. Расчеты показали, что применение предлагаемого агрегата обеспечивает: получение чистого дисконтированного дохода в течении периода эксплуатации (5 лет) с площади 50 га в размере 1986,62 тыс. руб., что на 963,08 тыс. руб. больше в сравнении с базовым вариантом; снижение себестоимости работ в 1,8 раза (с 110,47 тыс. руб. до 62,7 тыс. руб.). Срок окупаемости инвестиций составил 1,1 года.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **Итоги выполненного исследования**

1. Обоснована конструктивно-технологическая схема пахотно-фрезерного агрегата, позволяющего выполнять основную и предпосевную обработку почвы путем совмещения нескольких технологических операций: вспашку с рыхлением почвы, измельчением и заделкой растительных остатков с выравниванием поверхности почвы. Новизна технического решения подтверждена патентом РФ полезную модель № 168218.

2. Получены аналитические зависимости, позволяющие определить рациональные значения диаметра фрезы (0,40...0,53 м), частоты вращения барабана (240...370 мин<sup>-1</sup>), подачи на нож (0,01...0,016 м), количества и (3 шт.) длины ножей (0,15...0,26 м), ширины захвата агрегат (1,05 м).

3. Получены аналитические зависимости, позволяющие определить: угол установки ножей фрезы; силы, действующие на нож фрезы при измельчении почвенных глыб; высоту расположения барабана фрезы относительно обрабатываемой поверхности; траекторию полета частицы почвы в зависимости от ее физико-механических свойств и параметров фрезерного рабочего органа; угол отрыва почвы от боковой поверхности ножа фрезы; основные параметры и режимы работы пахотно-фрезерного агрегата. Установлены рациональные значения скорости движения агрегата (5,76...7,2 км/ч), угла установки фрезы (20...30°) и угловой скорости вращения барабана (20...25 с<sup>-1</sup>).

4. Экспериментальные исследования позволили получить модели в виде адекватных уравнений регрессии, на основе которых определены оптимальные значения параметров пахотно-фрезерного агрегата, обеспечивающие качество крошения 92,3% при тяговом сопротивлении 13,8

кН: скорость движения 7,0...7,07 км/ч; угловая скорость вращения барабана 20,1...20,7 с<sup>-1</sup>; угол установки фрезы 19<sup>0</sup>...20<sup>0</sup>.

5. В ходе производственных испытаний пахотно-фрезерного агрегата в ООО НП «Шэджем» Чегемского района Кабардино-Балкарской Республики подтверждены полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований, на основе которых установлено, что применение предлагаемого агрегата обеспечивает снижение плотности почвы в горизонте 0...10 см на 12,6...14,8% и увеличение ее пористости на 24,5...26,1%.

6. Применение пахотно-фрезерного агрегата в технологическом процессе предпосевной подготовки почв позволит получить чистый дисконтированный доход за период эксплуатации (5 лет) в размере 1986,62 тыс. руб. на площади 50 га, снизить себестоимость работ в 1,8 раза и окупить инвестиции за 1,1 года.

### Рекомендации производству

Сельскохозяйственным предприятиям предлагается пахотно-фрезерный агрегат для основной и предпосевной обработки почвы со следующими параметрами: ширина захвата – 1,05 м; глубина формирования посевного слоя – 7...10 см; угол установки фрезы – 19...20<sup>0</sup>; диаметр барабана фрезы – 40 см; число ножей – 3 шт.; угловая скорость вращения фрезы – 20,1...20,7 с<sup>-1</sup>; скорость движения агрегата – 7,0...7,07 км/ч.

### Перспективы дальнейшей разработки темы

Дальнейшее совершенствование конструкции пахотно-фрезерного агрегата для использования при основной и предпосевной обработке почвы под пропашные сельскохозяйственные культуры.

### Основные положения диссертации опубликованы

– в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. **Ашабоков, Х.Х.** Оптимизация параметров и режимов работы пахотно-фрезерного агрегата по критерию минимума тягового сопротивления / Х.Х. Ашабоков, А.К. Апажев, Ю.А. Шекихачев, Л.М. Хажметов, А.Г. Фиапшев // АгроЭкоИнфо.– 2019.– №2.– Режим доступа: [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2019/2/st\\_228.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2019/2/st_228.doc).

2. **Ашабоков, Х.Х.** Научное обеспечение технологии предпосевной подготовки почвы / Х.Х. Ашабоков, А.Г. Фиапшев // Международный технико-экономический журнал.– 2019.– №3.– С. 22-28.

3. **Ашабоков, Х.Х.** Моделирование процесса работы пахотно-фрезерного агрегата / Х.Х. Ашабоков // АгроЭкоИнфо.– 2019.– №3.– Режим доступа: [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2019/3/st\\_313.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2019/3/st_313.doc).

– в патентах:

4. Пат. 168218 РФ, МПК<sup>7</sup> А01В 49/02. Комбинированный почвообрабатывающий агрегат / А.К. Апажев, Л.М. Хажметов, Ю.А.

Шекихачев, **Х.Х. Ашабоков** [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Кабардино-Балкарский ГАУ.– № 2016125675/13; заявл. 27.06.2016; опубл. 24.01.2017; Бюл. № 3.– 2 с.: ил.

– в монографиях и рекомендациях:

5. Апажев, А.К. Научно-методические рекомендации по разработке мероприятий, обеспечивающих повышение плодородия почв в условиях склоновых эродированных черноземных почв Юга России / А.К. Апажев, Ю.А. Шекихачев, Л.М. Хажметов, **Х.Х. Ашабоков** [и др.].– Нальчик: КБГАУ, 2017.– 116 с.

6. Апажев, А.К. Инновационные технологические и технические решения по повышению плодородия почв в условиях склоновых эродированных черноземных почв Юга России / А.К. Апажев, Ю.А. Шекихачев, Л.М. Хажметов, **Х.Х. Ашабоков** [и др.].– Нальчик: КБГАУ, 2018.– 264 с.

– в прочих изданиях:

7. **Ашабоков, Х.Х.** Комбинированные пахотные агрегаты и пути их совершенствования / Х.Х. Ашабоков, Л.М. Хажметов, Ю.А. Шекихачев // Актуальные проблемы и инновационные технологии в отраслях АПК: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 35-летию Кабардино-Балкарского ГАУ (18-20 октября 2016 г.).– Нальчик: Кабардино-Балкарский ГАУ, 2016.– С. 21-25.

8. **Ашабоков, Х.Х.** Обоснование конструктивно-технологической схемы комбинированного пахотного агрегата / Х.Х. Ашабоков, Л.М. Хажметов, Ю.А. Шекихачев // Последние тенденции в области науки и образования: материалы международной (заочной) научно-практической конференции (03 февраля 2017 г.).– Душанбе: Nəşriyyat «Vüsət», 2017.– С. 35-40.

9. **Ашабоков, Х.Х.** Влияние уплотнения почвы на ее агрофизические свойства и урожай сельскохозяйственных культур / Х.Х. Ашабоков, Л.М. Хажметов, Ю.А. Шекихачев // Актуальные вопросы современных научных исследований: материалы международной (заочной) научно-практической конференции (7 февраля 2017 г.).– Минск: Выдавецтва «Навуковы свет», 2017.– С. 81-84.

10. **Ашабоков, Х.Х.** Анализ почвозащитных систем обработки почвы / Х.Х. Ашабоков, Л.М. Хажметов, Ю.А. Шекихачев // Проблемы и перспективы развития науки и образования в XXI веке: материалы международной (заочной) научно-практической конференции (09 февраля 2017 г.).– София: Издателска Къща «СОРОС», 2017.– С. 74-77.

11. **Ашабоков, Х.Х.** Организация основной и предпосевной подготовки почвы при возделывании озимой пшеницы / Х.Х. Ашабоков, А.Р. Мурзаканов, Р.А. Каширгов // Инновации в агропромышленном комплексе: материалы VI межвузовской научно-практической конференции сотрудников и обучающихся аграрных вузов СКФО, посвященной 100-летию со дня рождения профессора З.Х. Шауцукова (21-22 апреля 2017 г., г. Нальчик).– Нальчик: КБГАУ, 2017.– С. 20-23.

12. **Ашабоков, Х.Х.** Тяговое сопротивление комбинированного пахотного агрегата / Х.Х. Ашабоков, Л.М. Хажметов, Ю.А. Шекихачев // Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: материалы международной (заочной) научно-практической конференции (11 мая 2017 г.).– Кишинев: Editura «Liceul», 2017.– С. 9-12.

13. **Ашабоков, Х.Х.** Расчет мощности на привод рабочего органа комбинированного пахотного агрегата / Х.Х. Ашабоков, Л.М. Хажметов, Ю.А. Шекихачев // Инновационное развитие современной науки: проблемы и перспективы: материалы международной (заочной) научно-практической конференции (13 мая 2017 г.).– Астана: Баспасы «Академия», 2017.– С. 23-27.

14. **Ашабоков, Х.Х.** Исследование взаимодействия рабочего органа комбинированного пахотного агрегата с почвой / Х.Х. Ашабоков, Л.М. Хажметов, Ю.А. Шекихачев // Вопросы науки и образования: теоретические и практические аспекты: материалы международной (заочной) научно-практической конференции (16 мая 2017 г.).– Прага: Vydavatel «Osvícení», 2017.– С. 85-88.

15. Хажметов, Л.М. Технологическое и техническое обеспечение предпосевной подготовки почвы / Л.М. Хажметов, Л.З. Шекихачева, **Х.Х. Ашабоков** // Инновации в современной науке: материалы международной (заочной) научно-практической конференции (28 ноября 2017 г.).- Прага: Vydavatel «Osvícení», 2017.- С. 129-132.

16. **Ашабоков, Х.Х.** Разработка агрегата для предпосевной подготовки почвы / Х.Х. Ашабоков, Л.М. Хажметов, Ю.А. Шекихачев // Современные научные исследования и разработки.- 2017.- № 4 (12).- С. 363-365.

17. **Ашабоков, Х.Х.** Эффективность использования комбинированных пахотных агрегатов / Х.Х. Ашабоков, Л.М. Хажметов // Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию окончания Сталинградской битвы «Мировые научно-технологические тенденции социально-экономического развития АПК и сельских территорий» (31 января-02 февраля 2018 г.).– Том 2. – Волгоград, 2018.– С. 298-302.

Подписано в печать \_\_.\_\_.2020 г.  
Гарнитура Times New Roman. Печать трафаретная. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага писчая. Усл. п.л. 1,0. Тираж 100 экз.

Типография ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ  
360030, г. Нальчик, пр. Ленина, 1в