

На правах рукописи



Нийомувуньи Анжелос

**ПАРАМЕТРЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ ФРЕЗЫ
МОТОБЛОКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ ПОД
ПОСАДКУ РИСА (В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ
БУРУНДИ)**

Специальность 4.3.1 Технологии, машины и оборудование
для агропромышленного комплекса
(технические науки)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Краснодар – 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ)

Научный руководитель	Тарасенко Борис Федорович доктор технических наук, доцент
Официальные оппоненты:	Рыков Виктор Борисович доктор технических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «АНЦ «Донской», структурное подразделение СКНИИМЭСХ, лаборатория технологий возделывания пропашных и технических культур, заведующий лабораторией
	Михайлин Андрей Андреевич кандидат технических наук, доцент, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, кафедра «Общеинженерные дисциплины», доцент
Ведущая организация:	ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ (г. Нальчик)

Защита состоится «18» декабря 2025 года в 14:00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.019.03 при ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ по адресу: 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13, Кубанский ГАУ, корпус факультета энергетики, ауд. 110.

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

Автореферат разослан «___» _____ 2025 г., размещен на официальном сайте ВАК РФ <https://vak.gisnauka.ru/> и на сайте ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ <http://kubsau.ru/>.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент
Самурганов Евгений Ерманекосович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Система обработки почвы является важнейшим элементом современных интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур. От качества почвообработки по таким технологическим показателям, как рыхление (крошение), выравнивание поверхности почвы, перемешивание ее с минеральными удобрениями в полной мере зависит урожайность сельскохозяйственных культур. Одной из таких технологий является фрезерование, осуществляемое с помощью малогабаритных почвообрабатывающих фрез. Она актуальна для Республики Бурунди, где согласно данным ISTEERU (Исследовательский институт в Бужумбуре, Бурунди), площадь пахотных земель на одно домохозяйство составляет около 0,3-0,5 га. В большинстве домохозяйств рис является основной возделываемой культурой. Следует отметить, что Республика Бурунди входит в число наименее развитых стран в мире, поэтому степень механизации возделывания и уборки риса является крайне низкой.

Современная практика использования почвообрабатывающих фрез в агрегате с мотоблоками показывает, что достижение требуемого качества обработки почвы под посев риса за один проход является очень сложной задачей. Поэтому совершенствование существующих или разработка новых конструкций почвообрабатывающих фрез, обеспечивающих требуемое качество обработки почвы под посев риса за один проход является актуальной задачей.

Исследования по теме диссертационной работы проводились в соответствии с планом научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ Кубанского ГАУ ГР № 121032300060-2 (2021-2025 гг.).

Степень разработанности темы. Большой вклад в вопросы почвообработки, совершенствования и разработки технических средств обработки почвы внесли В. П. Горячкин, И. Б. Борисенко, С. И. Камбулов, В. Б. Рыков, С. Н. Капов, М. И. Че-

ботарев, А. А. Михайлин, П. И. Гаджиев, Ю. А. Шекихачев, С. В. Старцев, С. В. Оськин, Г. Г. Маслов и другие ученые.

Исследованиями в области разработки ротационных почвообрабатывающих машин занимались Г. Н. Синеоков, И. М. Панов, Ф. М. Канарев, И. М. Гринчук, А. К. Апажев, А. М. Егожев, Г. Ф. Попов, Л. М. Хажметов, Е. И. Трубилин, Б. Ф. Тарасенко и другие ученые.

Существенный вклад в вопросы технологии возделывания риса внесли В. И. Кирюшин, Е. П. Алешин, А. Г. Зеленский, В. С. Ковалев. В Республике Бурунди исследования в этой области проводил Низигиймана Алойз.

Большой вклад в исследования по механизации основной и поверхностной обработки почвы внесли ученые Аграрного научного центра «Донской», Новокубанского филиала «Росинформагротех» (КубНИИТиМ). Кабардино-Балкарского ГАУ и Кубанского ГАУ.

Несмотря на большое количество исследований процесса фрезерования почвы недостаточное внимание было уделено разработке рабочих органов малогабаритных почвообрабатывающих фрез, предназначенных для работы на мелкоконтурных полях.

Рабочая гипотеза – снижение расхода топлива и повышение качества поверхностной обработки почвы на мелкоконтурных полях можно обеспечить обоснованием параметров и режимов работы фрезы с горизонтальной осью вращения и с Г-образными ножами, оснащенными плоскими клиновидными зубьями.

Цель исследований. Обоснование параметров и режимов работы фрезы с горизонтальной осью вращения и с Г-образными ножами, оснащенными плоскими клиновидными зубьями, для уменьшения расхода топлива и повышения качества поверхностной обработки почвы на мелкоконтурных полях.

Объект исследования. Технологический процесс поверхностной обработки почвы на мелкоконтурных полях и технические средства для его осуществления.

Предмет исследования. Закономерности, связывающие параметры фрезы с горизонтальной осью вращения и с Г-образными ножами, оснащенными плоскими клиновидными зубьями с показателями расхода топлива и качества поверхностной обработки почвы.

Задачи исследований:

1. Разработать конструктивную схему технического средства для обработки почвы в мелкоконтурных рисовых чеках.

2. Определить аналитические зависимости величины реакции почвы на Г-образный нож с клиновидными зубьями от поступательной скорости фрезы при фиксированных значениях числа ножей, расположенных в одной плоскости.

3. Экспериментальным путем определить оптимальные параметры и режим работы фрезы с горизонтальной осью вращения и Г-образными ножами с клиновидными зубьями по критерию удельного расхода топлива.

4. Выполнить оценку сходимости результатов теоретических исследований и экспериментальных данных.

5. Выполнить сравнение фрезы с горизонтальной осью вращения и Г-образными ножами с клиновидными зубьями и наиболее распространенных фрез заводского производства по обобщенному показателю с использованием функции Харрингтона.

6. Выполнить расчет экономической эффективности применения предлагаемой почвообрабатывающей фрезы.

Методика исследований. Аналитические исследования выполнялись с использованием основных положений технической механики и дифференциального исчисления. При выполнении полевых опытов применялись методы алгоритмизированного планирования эксперимента. Обработка экспериментальных данных выполнялась с использованием методов математической статистики.

Научную новизну работы составляют:

1. Аналитические зависимости величины реакции почвы на Г-образный нож с клиновидными зубьями от поступательной

скорости фрезы при фиксированных значениях числа ножей, расположенных в одной плоскости.

2. Уравнение регрессии, позволяющее определить оптимальные параметры предлагаемой фрезы.

3. Комплексная оценка фрез с горизонтальной осью вращения для поверхностной обработки почвы, выполненная с использованием функции желательности Харрингтона.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическую значимость работы представляют: аналитические зависимости величины реакции почвы на Г-образный нож с клиновидными зубьями от поступательной скорости фрезы, позволяющие обосновать требуемую мощность на привод рабочих органов, а также определить удельный расход топлива при различном количестве зубьев, расположенных в плоскости резания; уравнение регрессии, определяющее оптимальные параметры предлагаемой фрезы.

Практическую значимость работы представляют: конструктивная схема фрезы с Г-образными ножами и клиновидными зубьями, которая позволяет разработать техническое решение конструкции фрезы для поверхностной обработки почвы на мелкоконтурных участках; соотношение между параметрами и режимом работы фрезы, минимизирующее удельный расход топлива и повышение качества обработки почвы.

Техническая новизна предложенного технического решения подтверждена патентом РФ №218609 на полезную модель.

Реализация результатов исследований. Опытный образец фрезы прошел производственные испытания в РПЗ «Красноармейский» – филиал ФГБНУ «ФНЦ риса» (Краснодарский край, поселок Октябрьский). Результаты исследований внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ.

Степень достоверности и апробация работы.

Оценка достоверности результатов исследования выявила: результаты получены с использованием известных и хорошо зарекомендовавших методик исследования, современной измерительной и вычислительной техники; теория согласуется с

опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации А. П. Акимова и М. И. Белова; идея базируется на обобщении передового опыта ученых Федерального научного центра риса и Кабардино-Балкарского ГАУ; использованы результаты опубликованных исследований по теме диссертации Ф. М. Канарева, А. М. Егожева; установлено качественное и количественное совпадение результатов теоретических исследований и экспериментальных данных с результатами, представленными в независимых источниках; использованы современные методы статистической обработки экспериментальных данных с использованием программ MathCad и Microsoft Excel.

Основные положения диссертационного исследования доложены и обсуждены на: II Международной научно-практической конференции (Нальчик, 2023 г.); II Зарубежной международной научной конференции (Доминиканская Республика, Сан-Кристобале, 2023 г.); Международной научной конференции (Санкт-Петербург, 2023 г.); Межвузовском международном конгрессе (Москва, 2023 г.); XVIII Международной научно-практической конференции «Аграрная наука – сельскому хозяйству» (Барнаул. 2025 г.).

На защиту выносятся:

- конструктивная схема технического средства для обработки почвы в мелкоконтурных рисовых чеках, состоящего из мотоблока и фрезы с горизонтальной осью вращения и Г-образными ножами с клиновидными зубьями;

- аналитические зависимости величины реакции почвы на Г-образный нож с клиновидными зубьями от поступательной скорости фрезы при фиксированных значениях числа ножей, расположенных в одной плоскости;

- уравнение регрессии, позволяющее определить оптимальные параметры предлагаемой фрезы;

- результаты комплексной оценки фрез с горизонтальной осью вращения для поверхностной обработки почвы, выполненной с использованием функции желательности Харрингтона;

- результаты оценки сходимости теоретических и экспериментальных исследований.

Публикации результатов работы. Основные положения диссертации опубликованы в 15 научных работах: 3 статьи в изданиях из перечня ВАК РФ, 8 статей в прочих изданиях, 4 патента РФ на полезную модель.

Структура и объём диссертационной работы. Диссертация содержит введение, четыре главы, заключение, рекомендации производству и перспективы дальнейшей разработки темы, список литературы. Работа изложена на 111 страницах машинописного текста, включает в себя 38 рисунков, 8 таблиц и 3 приложения. Список литературы включает 101 наименование.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении изложены актуальность исследований, цель работы, научная новизна, практическая значимость, основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе изложены: особенности обработки почвы мелкоконтурных полей под посев риса; актуальность снижения расхода топлива и повышения качества обработки почвы при фрезеровании; дана оценка и обзор почвообрабатывающих фрез, агрегатируемых с мотоблоками; анализ теоретических исследований поверхностной обработки почвы.

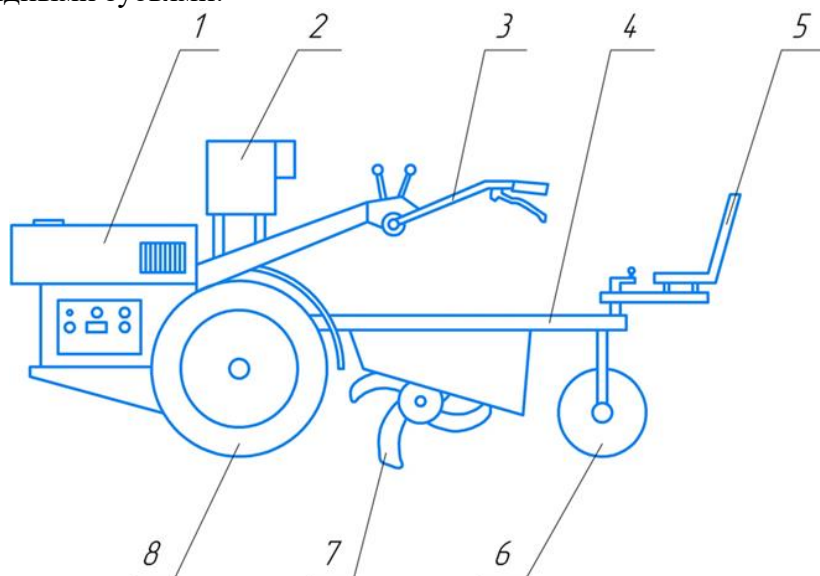
Определено перспективное направление совершенствование рабочих органов ротационных фрез, заключающее в разработке Г-образных ножей с дополнительными зубьями.

Установлено, что имеется широкий выбор малогабаритных почвообрабатывающих машин и орудий для поверхностной обработки почвы мелкоконтурных полей. Наиболее рациональным является использование ротационных фрез с горизонтальной осью вращения. Но их существенным недостатком является необходимость или двукратного прохода по полю, или использование дополнительно различного типа активных катков для крошения почвы и подготовки её к посеву риса.

Несмотря на большое количество исследований процесса фрезерования почвы недостаточное внимание было уделено разработке рабочих органов малогабаритных почвообрабатывающих фрез, предназначенных для работы на мелкоконтурных полях.

Сформулирована цель работы и задачи исследования.

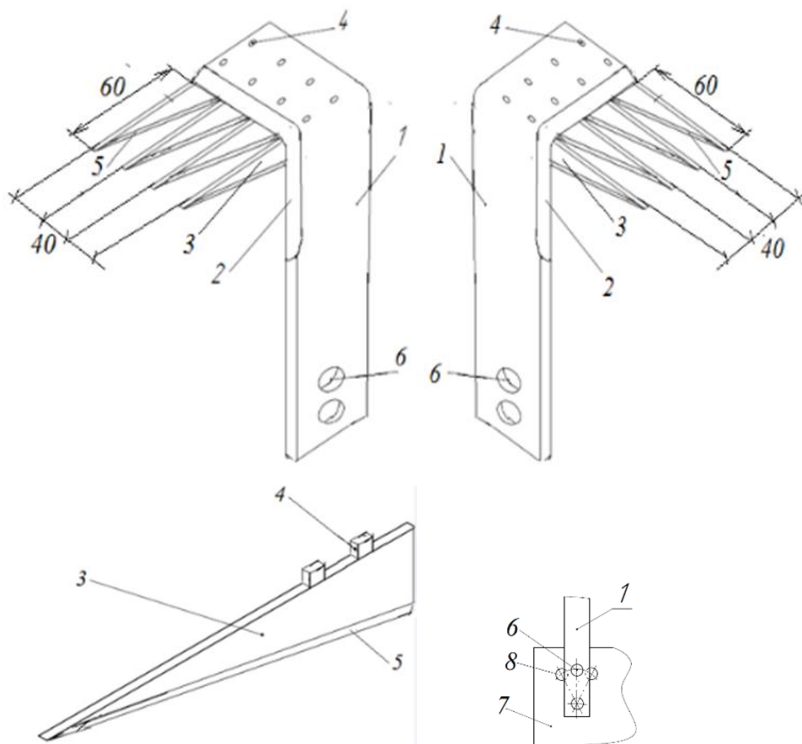
Во второй главе представлены результаты теоретических исследований по обоснованию конструктивной схемы технического средства для обработки почвы в мелкоконтурных рисовых чеках (рисунок 1), состоящего из мотоблока и фрезы с горизонтальной осью вращения и Г-образными ножами с клиновидными зубьями.



1 – двигатель; 2 – топливный бак; 3 – рукоятка с управляющими элементами; 4 – продольный брус; 5 – сиденье; 6 – опорное колесо; 7 – почвообрабатывающая фреза; 8 – ведущие колеса мотоблока.

Рисунок 1. – Конструктивная схема технического средства для обработки мелкоконтурных рисовых чеков

Разработана конструкция ножа почвообрабатывающей фрезы (рисунок 2).



1 – стойка; 2 – режущая кромка стойки; 3 – зуб; 4, 7 – кронштейн; 5 – режущая кромка зуба; 6, 8 – отверстия крепежные.

Рисунок 2. – Схема ножа почвообрабатывающей фрезы

а – нож с отогнутой частью стойки влево; б – нож с отогнутой частью стойки вправо; в – рисунок клиновидного зуба; г – схема установки стойки ножа на кронштейне фрезы.

Техническая новизна предлагаемой конструкции ножа фрезы защищена патентом РФ на полезную модель № 218609.

Полная мощность, потребляемая ротационной почвообрабатывающей фрезой с Г-образным ножом и с четырьмя клиновидными зубьями, определяется по выражению:

$$N = N_{\pi} + N_p + N_o, \quad (1)$$

где N – полная мощность, потребляемая фрезой, Вт; N_{Π} – мощность на перекачивание по полю, Вт; N_p – мощность на осуществление процесса резания, Вт; N_o – мощность на отбрасывание почвы, Вт.

Так как новизна конструкции предлагаемого фрезерного рабочего органа основана на наличии клиновидных зубьев, то формула, для нахождения N_p принимает следующий вид:

$$N_p = N_{pc} + N_{pz}, \quad (2)$$

где N_{pc} – мощность резания стойкой Г-образного ножа, Вт; N_{pz} – мощность резания зубьями, Вт.

На работу, совершаемую стойкой, влияет удельное сопротивление деформируемого пласта почвы, фронтальная проекция стойки и длина дуги резания:

$$A_{pc} = k_0 \cdot S_{\Pi c} \cdot l_p. \quad (3)$$

где A_{pc} – работа, совершаемая стойкой, Дж; k_0 – удельное сопротивление деформируемого пласта почвы, Н/м; $S_{\Pi c}$ – фронтальная проекция стойки, м; l_p – длина дуги резания, м.

Величину S_{Π} найдем, спроектировав стойку на плоскость, перпендикулярную к направлению её движения:

$$S_{\Pi} = \frac{a \cdot b \cdot (\cos \gamma_1 - \cos \gamma_2)}{\gamma_2 - \gamma_1}, \quad (4)$$

где a – толщина стойки, м; b – ширина стойки, м; γ_1, γ_2 – углы резания соответственно в начале и конце резания, град.

$$l_{pp} = \int_0^{\omega t_r} \sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos \omega t} d(\omega t), \quad (5)$$

где l_{pp} – длина дуги резания, рад; t_r – время оборота диска, с; λ – кинематический параметр.

На работу, совершаемую клиновидными зубьями, влияет удельное сопротивление деформируемого пласта почвы, фронтальная проекция зубьев и длина дуги резания:

$$A_{pz} = k_0 \cdot S_{nz} \cdot l_p. \quad (6)$$

Мощность, потребляемая в процессе резания и затрачиваемая на деформацию почвы одним ножом находится по выражению:

$$N_1 = \frac{A_{pc} + 4 \cdot A_{pz}}{t_p}, \quad (7)$$

Мощность, затрачиваемая ножами, расположенными в одной вертикальной плоскости, на резание и деформацию почвы найдем по выражению:

$$N_d = N_1 \cdot k_z, \quad (8)$$

где k_z – коэффициент, учитывающий перекрытие ножей во время работы.

Принимая на оси ротора n плоскостей с ножами, получим зависимость для определения мощности N_{pp} , затраченной на резание и деформацию почвы всем ротором в виде:

$$N_{pp} = k_z \cdot n \cdot N_1 = \frac{v_n t_p}{S} \cdot n \cdot \frac{A_{pc} + 4 \cdot A_{pz}}{t_p}, \quad (9)$$

После преобразований получим:

$$\begin{aligned} N_{pp} &= \frac{v_n \cdot n}{S} (k_l \cdot l_n \cdot l_p + k_0 \cdot S_{к.с.} \cdot l_p + 4 \cdot k_0 \cdot S_{н.с.} \cdot l_p) = \\ &= \frac{v_n \cdot n \cdot l_p}{S} (k_l \cdot l_n + k_0 \cdot S_{к.с.} + 4 \cdot k_0 \cdot S_{н.с.}), \end{aligned} \quad (10)$$

Принимаем, что центр тяжести элементарной массы находится на конце рабочего органа и под воздействием последнего частицы почвы приобретают его среднюю скорость. Тогда мощность на отбрасывание почвы:

$$N_o = 0,5 \rho_{\pi} B h k_{от} \omega^3 R^3 - \frac{(\lambda - 1)^2}{\lambda^3}, \quad (11)$$

где ρ_{π} – плотность почвы, кг/м³; B – ширина захвата ротора, м; h – глубина обработки, м; $k_{от}$ – коэффициент отношения масс отброшенной и всей срезанной почвы, определяемый экспериментально; R – радиус ротора, м.

Окончательно получаем:

$$N = N_n + \frac{v_n \cdot n \cdot l_p}{S} (k_l \cdot l_n + k_0 \cdot S_{\text{к.с.}} + k_0 \cdot S_{\text{n.с.}}) + 0,5\rho_{\text{п}}Bh\nu_{\text{п}}^3k_{\text{от}}(\lambda - 1)^2, \quad (12)$$

где N – полная мощность почвообрабатывающей фрезы, Вт.

По известной общей мощности, может быть получено среднее значение величины реакции почвы на один нож, соответствующей тяговому сопротивлению, приходящемуся на один нож:

$$P = \frac{Nt_p}{\omega z k_z l_p} = \frac{NS}{nz v_n l_p}. \quad (13)$$

где P – среднее значение величины реакции почвы на один нож, Н; z – число ножей, расположенных в одной плоскости; k_z – коэффициент, учитывающий перекрытие ножей во время работы.

Для установления зависимости величины тягового сопротивления почвы, приходящегося на один нож, от поступательной скорости агрегата при фиксированных значениях числа ножей, расположенных в одной плоскости воспользуемся выражением (13) и по полученным данным построим график (рисунок 3), с указанием аппроксимирующих выражений для каждой кривой.

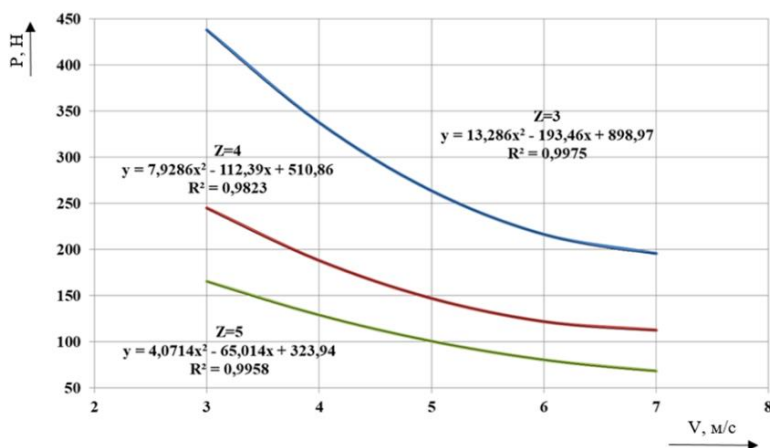


Рисунок 3. – Зависимость величины тягового сопротивления почвы, приходящегося на один нож, от поступательной скорости агрегата

Из графика на рисунке 3 следует, что величина реакции почвы на один нож составила: для фрезы с тремя ножами 445 Н, с 4 ножами 250 Н, с 5 ножами 165 Н.

В третьей главе представлены методика и результаты экспериментальных исследований.

В качестве критерия оптимизации использовали удельный расход топлива на единицу площади (л/га). В качестве ограничения использовали степень крошения почвы (массовая доля комков почвы).

Определена степень значимости факторов и выявлены из их числа существенные факторы, влияющие критерий оптимизации: V – поступательная скорость движения фрезы, км/ч; α – угол наклона зубьев ножей, град.

Общий вид экспериментальной установки приведен на рисунке 4.



Рисунок 4. – Общий вид экспериментальной установки

Для постановки эксперимента выбрали симметричный композиционный двухфакторный план Бокса Вк. Факторы, интервалы и их уровни варьирования приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Факторы, интервалы и уровни варьирования

Факторы	Кодированное обозначение	Интервал варьирования	Уровни факторов		
			-1	0	+1
Поступательная скорость движения фрезы V , км/ч	x_1	2	3	5	7
Угол наклона зубьев ножей α , град.	x_2	5	80	85	90

Для обработки результатов опытов были разработаны специальные программы в приложении MathCad.

Исходя из функции отклика получили уравнение регрессии в кодированном виде, рассчитав коэффициенты регрессии методом математической обработки данных, полученных по результатам опытов:

$$Y = 14,01 - 1,42x_1 - 1,955x_2 + 0,99x_1x_2 - 7,24x_1^2 - 6,325x_2^2 \quad (14)$$

где y – удельный расход топлива на единицу площади, л/га.

По критерию Фишера провели проверку гипотезы на адекватность, полученного уравнения регрессии. Расчетное значение критерия Фишера составило $F_P=3,973$, что меньше табличного $F_T=6,04$. Следовательно, уравнение (14) адекватно описывает процесс фрезерования.

Поверхность отклика, представленная на рисунке 5, является гиперболоидом вращения, а оптимальное значение отклика $G=14,08$ л/га достигается при поступательной скорости движения фрезы $V=5,2$ км/ч и угле наклона ножей $\alpha=84,3$ град.

Сопоставление результатов теоретических исследований и экспериментальных данных по расходу топлива выполнили вблизи оптимального значения угла наклона зубьев 85 град и скорости движения фрезы 5,2 км/ч в интервале 4,8...5,4 км/ч – таблица 2.

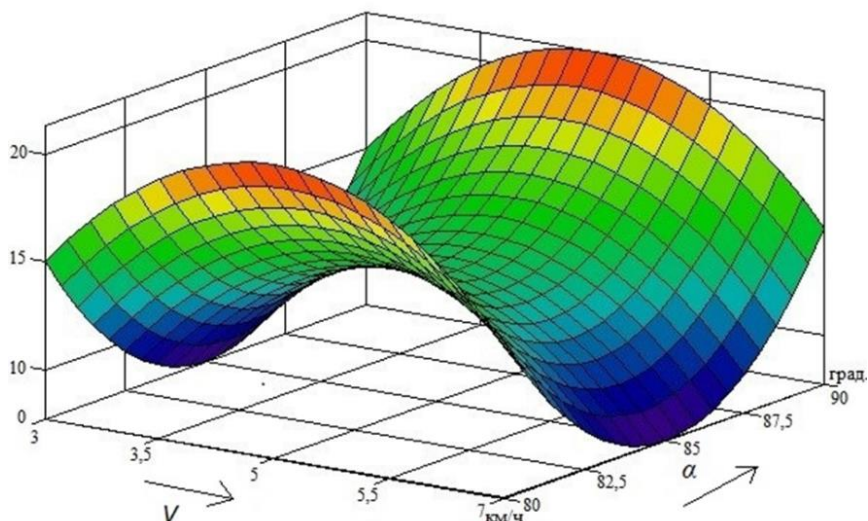


Рисунок 5. – Поверхность отклика зависимости погектарного расхода топлива (G) от поступательной скорости фрезы (V) и угла наклона зубьев (α)

Таблица 2 – Сопоставление теоретических и экспериментальных данных

Скорость фрезы, км/ч	Расход топлива, л/га		Разница	
	теория	эксперимент	л/га	%
4,8	15,41	14,39	-1,02	-6,6
4,9	15,05	14,26	-0,79	-5,2
5,0	14,71	14,16	-0,55	-3,7
5,1	14,39	14,10	-0,29	-2,0
5,2	14,08	14,08	0	0
5,3	13,79	14,09	0,3	2,2
5,4	13,52	14,14	0,62	4,6

Анализ данных таблицы 2 показывает, что вблизи оптимального значения скорости движения фрезы 5,22 км/ч, в интервале 4,8-5,4 км/ч расхождение между теоретическими значения-

ми погектарного расхода топлива и экспериментальными данными не превышает 7 %.

Для сравнения различных типов фрез провели комплексную оценку наиболее распространенных фрез используя модернизированную функцию желательности (функцию Харрингтона) – рисунок 6.

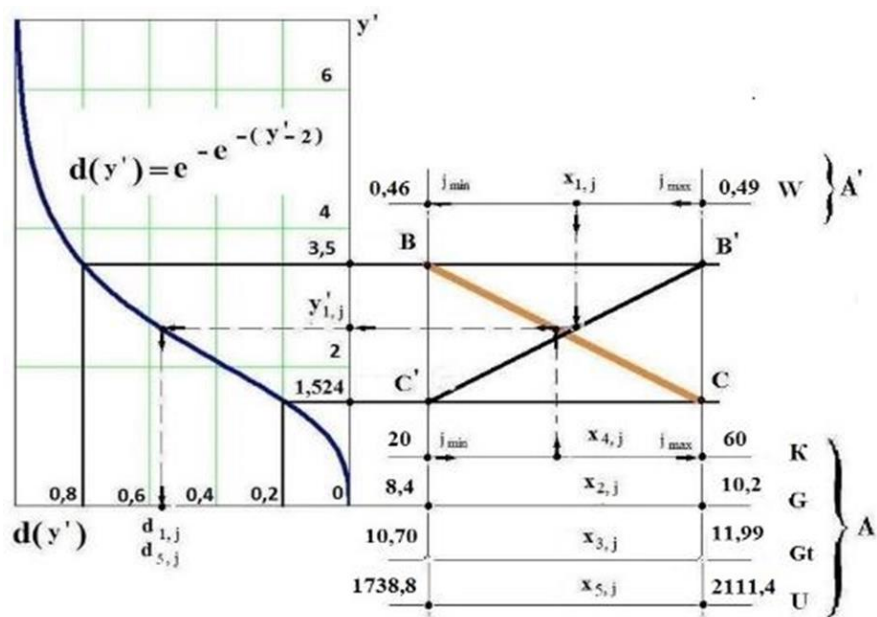


Рисунок 6. – Модернизированная функция Харрингтона: A – прямые шкалы желательности (K , G , Gt , U); A' – обратные шкалы желательности (W); BC , $[[B' C]]$ – полученные графическим построением прямые для проектирования значений показателей шкал A и A' на кривую Харрингтона.

Анализируемые показатели и их весомость представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Показатели и их весомость

Показатель	Тип фрезы				Коэффициент весомости
	Экспериментальная	Стандартная	Сегментная	Барабанная	
W - производительность, га/ч;	0,49	0,47	0,48	0,46	0,25
G - вес фрезы, кг	8,4	8,7	10,2	9	0,11
G _т - расход топлива, кг/га	10,7	10,7	10,9	11,9	0,25
K - размеры комков почвы, мм	20	60	45	50	0,25
U - цена фрезы, руб.	1738,8	1800,9	2111,4	1863	0,14

Результаты анализа графиков на рисунке 6 приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Обобщенные показатели сравниваемых фрез

Номер фрезы	Сравниваемые фрезы	Обобщенные оценочные показатели	
		без учета коэффициентов весомости	с учетом коэффициентов весомости
1	Экспериментальная	0,632	0,902
2	Стандартная «саблевидная»	0,518	0,862
3	Сегментная «гусиные лапки»	0,389	0,856
4	Барабанная	0,363	0,793

Из анализа данных таблицы 4 можно сделать вывод о преимуществе экспериментальной фрезы перед фрезами сегментной, барабанной и стандартной.

В четвертом разделе представлен расчет экономической эффективности использования предлагаемой фрезы. Проведенная технико-экономическая оценка предлагаемой фрезы и фрезы с саблевидными ножами производства АК «Туламашзавод» показала: производительность возросла с 0,3 га/ч до 0,37 га/ч или на 23,3 %, расход топлива уменьшился на 50 %, а эксплуатационные затраты сократились на 42 %. Годовой экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат составит – 18236 руб./год, а срок окупаемости – 0,92 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

1. Обоснована конструктивная схема технического средства для обработки почвы в мелкоконтурных рисовых чеках, состоящего из мотоблока и фрезы с горизонтальной осью вращения и Г-образными ножами с клиновидными зубьями. Новизна технических решений подтверждена патентами РФ на полезную модель № 215678, № 218609, № 220745.

2. Определены аналитические зависимости величины реакции почвы на Г-образный нож с клиновидными зубьями от поступательной скорости фрезы при фиксированных значениях числа ножей 3, 4, 5 расположенных в одной плоскости. В результате проведенных расчетов установлено, что при поступательной скорости фрезы 3 км/ч, угле наклона зубьев 85° и радиусе рабочих органов 0,2 м величина реакции почвы на один нож составила: для фрезы с 3 ножами 445 Н, с 4 ножами – 250 Н, с 5 ножами – 165 Н.

3. В результате реализации плана Бокса-Бенкина для двухфакторного эксперимента были получены оптимальные параметры и режим работы фрезы с горизонтальной осью вращения и Г-образными ножами с клиновидными зубьями: угол

наклона зубьев ножей $84,3^{\circ}$, скорость передвижения фрезы 5,2 км/ч. При этих значениях удельный расход топлива составил 14,08 л/га, а массовая доля комков земли диаметром менее 3 см более 90 %.

4. Сравнение результатов теоретических исследований и экспериментальных данных по удельному расходу топлива показало, что в области оптимальных значений параметров и режима работы экспериментальной фрезы (угле наклона ножей 85° и скорости 4,8-5,4 км/ч) расхождение не превышает 7 %.

5. Сравнение четырех фрез с использованием функции Харрингтона показало следующее: наибольшее значение обобщенного показателя у экспериментальной фрезы – 0,632; у стандартной «саблевидной фрезы» – 0,518, у сегментной «гусиные лапки» – 0,389, у барабанной – 0,363. Следовательно, можно сделать вывод о преимуществе экспериментальной фрезы перед сегментной, барабанной и стандартной фрезами.

6. Проведенная технико-экономическая оценка предлагаемой фрезы и фрезы с саблевидными ножами производства АК «Туламашзавод» показала: производительность возросла с 0,3 га/ч до 0,37 га/ч или на 23,3 %, расход топлива уменьшился на 50%, а эксплуатационные затраты сократились на 42 %. Годовой экономический эффект от снижения эксплуатационных затрат составит - 18236 руб./год, а срок окупаемости – 0,92 года.

Рекомендации производству

Предложенная в работе конструкция фрезы с горизонтальной осью вращения и Г-образными ножами с клиновидными зубьями может быть использована конструкторскими организациями при разработке устройств для поверхностной обработки почвы на мелкоконтурных участках.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Дальнейшее совершенствование предложенной конструкции почвообрабатывающей фрезы может идти в направлении её адаптации под основную обработку почвы на глубину 0,2...0,22 м.

Основные положения диссертации опубликованы

в изданиях, рекомендованных ВАК России:

1. Обработка почвы фрезой с клиновидными ножами / Б. Ф. Тарасенко, **А. Нийомувуньи**, В. А. Дробот [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2023. – Т. 90. – № 4. – С. 307-314.

2. Агрегат для механизированной обработки почвы при возделывании риса в Бурунди / В. А. Дробот, Б. Ф. Тарасенко, **А. Нийомувуньи** // Journal of Agriculture and Environment. – 2023. – №10 (38).

3. Комплексная оценка средств малой механизации для обработки почвы с использованием функции желательности (кривой Харрингтона) / Б. Ф. Тарасенко, В. В. Цыбулевский, **А. Нийомувуньи** [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2025. – № 207. – С. 79-88.

- в прочих изданиях

4. Тарасенко, Б. Ф. Инновационный агрегат для подготовки почвы под посадку риса в Бурунди / Б. Ф. Тарасенко, **А. Нийомувуньи** // Мичуринский агрономический вестник. – 2022. – № 4. – С. 72-76.

5. **Нийомувуньи, А.** Средство подготовки почвы под посадку риса в Бурунди / **А. Нийомувуньи**, Э. Хавьяримана, Б. Ф. Тарасенко // Вектор современной науки : Сборник тезисов по материалам Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, Краснодар, 15 ноября 2022 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2022. – С. 877-878.

6. Innovative unit for preparing the soil for planting rice in Burundi / **A. Niyomuvunyi**, B. F. Tarasenko. - In the collection: La ciencia en una era de desafíos y cambios globales. II Foreign International Scientific Conference. San Cristóbal, 2023. – С. – 60-63.

7. **Нийомувуньи, А.** Агрегат для подготовки почвы под посадку риса в Бурунди с гибридной силовой установкой / **А. Нийомувуньи, Б. Ф. Тарасенко** // Энергоресурсосбережение и энергоэффективность: актуальные вопросы, достижения и инновации : Сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции, Нальчик, 22–23 декабря 2023 года. – Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова, 2023. – С. 207-212.

8. **Нийомувуньи, А.** Инновационный агрегат для подготовки почвы под посадку риса в Бурунди / **А. Нийомувуньи, Б. Ф. Тарасенко** - В сборнике: Вопросы фундаментальных и прикладных научных исследований. Сборник статей международной научной конференции. Санкт-Петербург, 2023. – С. 28-32.

9. Тарасенко, Б. Ф. Агрегат для подготовки почвы под посадку риса в Бурунди с гибридной силовой установкой / Б. Ф. Тарасенко, **А. Нийомувуньи**. – В сборнике: Высшая школа: научные исследования. Материалы Межвузовского международного конгресса. Москва, 2023. – С. 130-136.

10. Optimization of parameters and operating modes of the unit for preparing soil for planting rice in Burundi / **A. Niyomuvunyi**, B. Tarasenko, V. Drobot, etc., - В сборнике: E3S WEB OF CONFERENCES. IX International Conference on Advanced Agritechologies, Environmental Engineering and Sustainable Development. EDP Sciences - Web of Conferences, 2024. – С. 06004.

11. Войнаш, С. А. Нож почвообрабатывающей фрезы / С. А. Войнаш, **А. Нийомувуньи, Б. Ф. Тарасенко**. - XVIII Международная научно-практическая конференция "Аграрная наука – сельскому хозяйству", Барнаул. – 2025. – с. 107-108.

в патентах на полезную модель:

12. Патент РФ №215678, МПКА01В 39/00. Агрегат для подготовки почвы под посадку риса в Бурунди / Б. Ф. Тарасенко, **А. Нийомувуньи**: - ФГБОУ ВО «Кубанский государствен-

ный аграрный университет имени И.Т. Трубилина». – Оpubл.: 21.12.2022, Бюл. № 36.

13. Патент РФ №218609, МПК А01В 33/10. Нож почвообрабатывающей фрезы / Б. Ф. Тарасенко, **А. Нийомувуньи**, В. А. Дробот, А. И. Блинова: - ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина». – Оpubл.: 01.06.2023, Бюл. № 16.

14. Патент РФ №220745, МПК А01В 39/00. Агрегат для подготовки почвы под посадку риса в Бурунди с гибридной силовой установкой / Б. Ф. Тарасенко, Н. И. Богатырев, **А. Нийомувуньи** [и др.]: ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина». - Оpubл.: 02.10.2023 Бюл. № 28.

15. Патент РФ №221949, МПК А01В 39/00. Испытательное устройство для определения тягового сопротивления / Б. Ф. Тарасенко, Н. И. Богатырев, **А. Нийомувуньи** [и др.]: ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина». - Оpubл.: 01.12.2023 Бюл. № 34.

Подписано в печать 15.10.2025

Бумага офсетная

Печ. лист – 1

Тираж 100 экз.

Формат 60 × 84 1/16

Офсетная печать

Заказ № 395

Отпечатано в типографии Кубанского ГАУ
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13