

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Кубанский государственный аграрный
университет им. И.Т. Трубилина»



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

Научный руководитель:
доктор технических наук,
доцент Тарасенко Б. Ф.

Краснодар - 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1 Состояние механизации поверхностной обработки почвы на мелко- контурных полях	10
1.1 Особенности обработки почвы мелкоконтурных полей и техноло- гии возделывания риса в Республике Бурунди	10
1.2 Обзор технических средств и конструкций рабочих органов для поверхностной обработки почвы	13
1.3 Анализ теоретических исследований процесса обработки почвы ...	23
1.4 Выводы. Цель и задачи исследований	30
2 Теоретические исследования процесса фрезерования почвы Г-образным ножом с дополнительными зубьями	33
2.1 Обоснование конструктивной схемы технического средства для обработки почвы в мелкоконтурных рисовых чеках	33
2.2 Разработка рабочего органа почвообрабатывающей фрезы	34
2.3 Зависимость энергоемкости обработки почвы от параметров поч- вообрабатывающей фрезы	38
2.4 Выводы по главе	50
3 Результаты и анализ экспериментальных исследований	52
3.1 Программа экспериментальных исследований и описание экспериментальной установки	52
3.2 Методика экспериментального исследования и применяемые приборы	55
3.3 Оптимизация параметров и режима работы почвообрабатываю- щей фрезы	59
3.4 Сопоставление результатов теоретических исследований с экспе- риментальными данными	64
3.5 Комплексная оценка предлагаемой фрезы с использованием функции желательности	69

3.6 Выводы по главе	73
4 Экономическая эффективность использования предлагаемой фрезы	75
Заключение	82
Список использованной литературы	84
Приложения	95

ВВЕДЕНИЕ

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. Чеботарев, 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 оценка 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.

1 СОСТОЯНИЕ МЕХАНИЗАЦИИ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ НА МЕЛКОКОНТУРНЫХ ПОЛЯХ

1.1 Особенности обработки почвы мелкоконтурных полей и технологии возделывания риса в Республике Бурунди

Основная и поверхностная обработка почвы мелкоконтурных полей существенно отличается от обработки полей, площадью более нескольких гектаров. Практически исключается применение агрегатов, включающих тракторы класса 1,4 и выше и сопутствующего им шлейфа сельскохозяйственной техники. Наиболее рационально применение мотоблоков различной мощности в агрегате с малогабаритными сельскохозяйственными машинами и орудиями. В настоящей работе мы будем рассматривать обработку почвы на участках площадью 0,3-0,5 га, как наиболее распространенных в сельском хозяйстве Республики Бурунди [18].

Климатические условия: республика расположена в южной части африканского континента; климат зависит от высоты местности над уровнем моря и варьирует от жаркого до умеренного, но температура практически не зависит от времени года и составляет 22...25⁰С, что служит благоприятным условием для возделывания риса [39].

В сельскохозяйственном секторе страны занято более 92 % всего населения. Сельскохозяйственное производство обеспечивает более 50 % внутреннего валового продукта [22].

Производство продуктов питания в значительной степени предназначено для самостоятельного потребления. Продукция сельского хозяйства обеспечивает 71,5 % дохода домохозяйств [4].

Согласно данным ISTEERU (Исследовательский институт в Бужумбу-ре, Бурунди), площадь пахотных земель на одно домохозяйство составляет 0,3-0,5 га [18].

Начиная с 1973 года выращивание риса на орошаемых землях приобрело массовый характер. Во многом этому способствовало организация в Бурунди Имбо (SRDI) – общества регионального развития [22].

Согласно рекомендаций Имбо [22] в республике используют средне-осыпающие сорта риса. Это обстоятельство обусловлено тем, что обмолот риса из-за слабой механизации сельского хозяйства выполняется практически во всех домохозяйствах вручную.

На первом этапе рис высаживается в стационарных питомниках (рисунок 1.1). Полученная рассада через 40 дней после посева высаживается в поле [18, 22].



Рисунок 1.1 – Рисовый питомник в Бурунди (источник: ISABU)

Для возделывания риса необходима подготовка почвы, которая включает в себя вспашку. В республике вспашка полей выполняется в три этапа.

Обслуживание дренажной сети чеков выполняется за три недели до посева. В эти же сроки выполняется вспашка полей, на которых размещаются рисовые чеки. Глубина вспашки составляет 25...30 см.

Вторая вспашка выполняется за 7-10 дней до пересадки рассады в поле.

Третья вспашка выполняется за день или в день высадки рассады. Вспашка производится малогабаритной почвообрабатывающей техникой в

агрегате с мотоблоками (рисунки 1.2 и 1.3). Как правило, используются плуги и фрезы с саблевидными ножами.



Рисунок 1.2 – Первая вспашка мотоблоком в агрегате с плугом



Рисунок 1.3 – Вторая вспашка мотоблоком в агрегате с плугом

Существенным недостатком использования фрез с саблевидными ножами является необходимость повторного прохода, так как после первого прохода массовая доля комков диаметром более 5 см превышает исходные требования к фрезерованию почвы [3, 33, 38, 93].

1.2 Обзор технических средств и конструкций рабочих органов для поверхностной обработки почвы

К средствам малой механизации для обработки почвы относятся мотоблоки с рабочими органами. Рассмотрим основные типы мотоблоков и конструкции рабочих органов к ним для почвообработки.

Мотоблок КаДви Угра НМБ-1Н14 [52] – рисунок 1.4.



Рисунок 1.4 – Общий вид мотоблока КаДви Угра НМБ-1Н14 с фрезой

Страна производитель – Россия. Мотоблок имеет классическую компоновку с одноосной ходовой частью и пневматическими колесами. На рулевом управлении расположена регулируемая в двух положениях колонка. Двигатель бензиновый Lifan 177F мощностью 9 л. с. Расход топлива (бензин АИ92) 1,9 л/ч. Редуктор шестеренчатый, угловой. Коробка имеет 3 передачи вперед и реверс. Мотоблок имеет массу 75 кг и оснащается пневматическими колесами с колеей 400 мм либо фрезами с шириной захвата до 1085 мм. Стоимость мотоблока составляет от 86 до 98 тыс. руб.



Рисунок 1.5 – Общий вид мотоблока Нева МБ2-B&S [53]

Страна производитель – Россия. Агрегат, с четырёхтактным бензиновым двигателем CR950, мощностью 6,5 л.с. Расход топлива (бензин АИ92) 2,8 л/ч. Рычаг переключения передач расположен около руля. Мотоблок может обрабатывать все виды почв, ширина вспашки составляет 1260 мм, глубина вспашки 200 мм. На больших участках культивация осуществляется на 4–8 фрезах. При наличии дополнительного оборудования, агрегат также применяется для кошения травы и перевозки грузов. Масса мотоблока 91 кг, коробка передач имеет две скорости назад и одну вперед, но также есть возможность установки ремня моторной передачи на одну из двух пар шкивов разного диаметра. Стоимость мотоблока составляет от 76 до 90 тыс. руб.



Рисунок 1.6 – Общий вид мотоблока CHAMPION BC1193 [48]

Страна производитель – Китай. Мотоблок оборудован четырехтактным двигателем Champion G270HK с мощностью 9 л.с. Расход топлива (бензин АИ92) 2,6 л/ч. Масса мотоблока 117 кг, объем топливного бака 6 л. Возможность использования навесного оборудования: колеса грунтозацепные, плуг, окучник створчатый, картофелекопалка, роторная сенокосилка, мотопомпа. К недостаткам пользователи относят среднее качество сборки и отсутствие разблокировки одного из колес для удобного поворота при работе. Стоимость мотоблока составляет от 70 до 90 тыс. руб.



Рисунок 1.7 – Общий вид мотоблока ЗУБР МТБ-400 [51]

Страна производитель – Россия. Бензиновый мотоблок мощностью 7 л.с. предназначен для рыхления и культивирования, также есть возможность использования дополнительного навесного оборудования. Расход топлива (бензин АИ92) 2,0 л/ч. Масса 81 кг, емкость топливного бака 3,6 л. Мотоблок имеет клиновидный зубчатый ремень в приводе культиватора, на корпусе предусмотрен щиток, защищающий оператора от попадания земли. К недостаткам относят качество сборки. Стоимость мотоблока составляет от 35 до 55 тыс. руб.



Рисунок 1.8 – Общий вид мотоблока Файтер 15DE [49]

Страна производства – Китай. Мотоблок Файтер 15DE поставляется в комплектации с электростартером, почвофрезой, колесами 12' и сиденьем. Ширина захвата почвофрезы – 100 см.

На мотоблок устанавливается дизельный двигатель R195-T, мощность которого составляет 14,85 л. с. Расход топлива – 1,75 л/ч. Мотоблок оснащен тремя ВОМ.

КПП имеет три передачи вперед и одну назад. Стоимость мотоблока составляет от 150 до 180 тыс. руб.

Существуют еще десятки марок мотоблоков различных производителей из Европы, Азии и США, предназначенные для работы на мелкоконтурных полях. Но все они обладают схожими характеристиками с теми мотоблоками, которые описаны выше.

На мотоблоках для обработки почвы основным рабочим органом являются фрезы. Как правило, они приводятся в движение от валов колес мотоблока. Но выпускаются и навесные конструкции фрез, имеющие привод от ВОМ.

В настоящее время выпускаются фрезы с четырьмя основными формами ножей: саблевидная, сегментная (гусиные лапки), «Целина», «Активный ротор» со спиралевидными ножами [84, 89, 91].



Рисунок 1.9 – Общий вид фрезы с саблевидными ножами

Фреза с ножами саблевидной формы – сборная конструкция, состоящая из 4-х ножей, размещенных перпендикулярно относительно друг друга. Колеса мотоблока снимаются, и фреза монтируется на ось, на которой были расположены колеса.

Ножи изготавливаются из конструкционной высокоуглеродистой стали и подлежат закалке. Для их изготовления для обработки тяжелой почвы может применяться также пружинная сталь марки 65Г, подлежащая объемной закалке.

Этот тип фрез неудовлетворительно работает на землях, поросших растениями. Кроме того, мотоблок подскакивает и необходимо дополнительное усилие со стороны оператора для поддержания равномерного хода.



Рисунок 1.10 – Общий вид сегментной фрезы «Гусиные лапки»

Свое название фреза (рисунок 1.10) благодаря форме рабочих органов. Фреза представляет собой цельносварную конструкцию.

Фреза эффективна при обработке тяжелых почв. Но на участках, заросших растениями забивается.



Рисунок 1.11 – Общий вид фрезы «Целина»

Рабочие органы фрезы (рисунок 1.11) представляют собой спиралевидные изогнутые ножи, приваренные к валу фрезы. К концам ножей привариваются заточенные пластинки из твердосплавной легированной стали. Такое устройство ножей позволяет обрабатывать тяжелые суглинистые и глинистые почвы, заросшие густой растительностью.

Существенный недостаток фрезы «Целина» заключается в следующем: при фрезеровании за счет выброса почвы на края из центра образуется борозда, что требует последующего выравнивания почвы другими повообрабатывающими орудиями.



Рисунок 1.12 – Общий вид фрезы «Активный ротор»

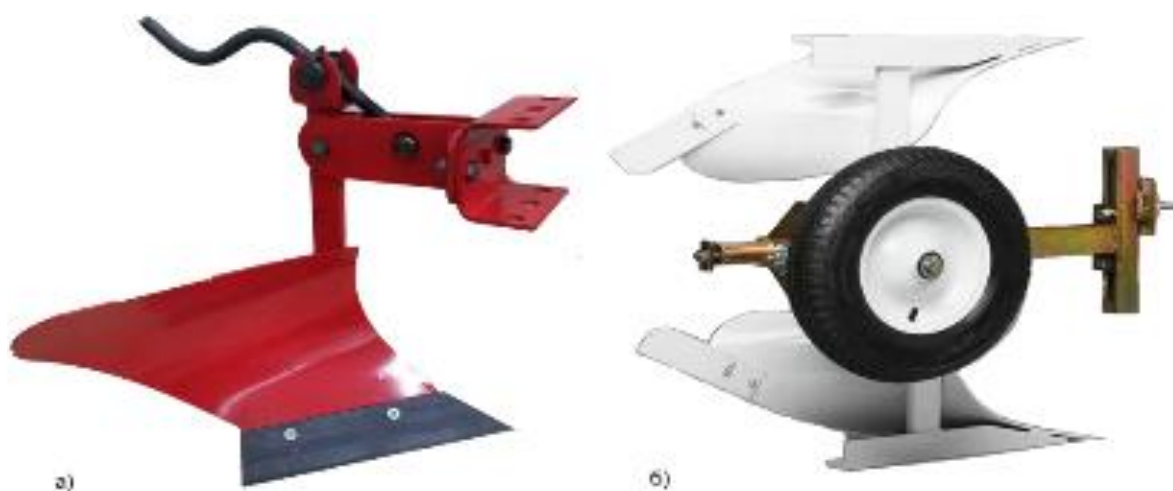
Фреза (рисунок 1.12), оснащена ножами, которые имеют форму винтовых планок, которые придают фрезе бочкообразную форму. В отличие от обычных ножей, ножи данной фрезы располагаются по отношению к поверхности почвы не под углом, а плашмя.

Фреза обеспечивает измельчение травы, сидератов перед запахиванием, а также мульчирование и выравнивание почвы.

Существенным недостатком фрезы является то, что при обработке неровной поверхности поля она просто перекачивается и не разрыхляет при этом почву.

Также одним из основных видов навесного оборудования для обработки почвы является плуг. Плуг необходим для поднятия и переворота верхнего слоя почвы. В процессе вспашки грунт разрыхляется до менее плотного состояния, что в последующем облегчит работу с фрезой и иными работами с почвой. Благодаря вспашке повреждается корневая система сорняков, что приводит к их гибели, в свою очередь создаются благоприятные условия для культурных растений.

Различают плуги следующих конструкций [75].



а – плуг стандартный; б – плуг Зыкова.

Рисунок 1.13 – Плуги для мотоблоков

Плуг на рисунке 1.13,а имеет культурную поверхность отвала. Для изготовления плуга используется легированная сталь 40Х или пружинная 65Г. Эти стали практически не поддаются коррозии, что обеспечивает длительный срок эксплуатации плуга. Классическая конструкция плуга обеспечивает подрезание корней сорняков, оборот пласта и рыхление почвы.

Плуг Зыкова (рисунок 1.13, б) представляет собой несколько модернизированный вариант плуга с культурной лемешно-отвальной поверхностью. Левосторонний плуг Зыкова (рисунок 1.13, б) - это зеркальная копия обычного (правостороннего) плуга Зыкова. Поэтому левосторонний плуг Зыкова обладает всеми теми же свойствами, что и правосторонний. Предназначен он для двух целей: 1) для левшей (им может быть удобнее работать левосторонним плугом), 2) для комплектации оборотного плуга Зыкова.

Для обработки полей после пахоты применяют бороны разных конструкций. Производится несколько вариантов конструкций борон для малогабаритной почвообрабатывающей техники: зубовые, дисковые, игольчатые, роторные [14, 15].



Рисунок 1.14 – Общий вид зубовой бороны

Зубовая борона (рисунок 1.14) – раму, на которой размещены зубья длиной зубьев составляет 0,025-0,05 м.



Рисунок 1.15 – Общий вид дисковой бороны БД 850М

Основные рабочие органы дисковой бороны – сферические диски, которые монтируются на одной оси. Диски устанавливаются под углом по направлению движения агрегата, что обеспечивает их заглубление в почву.



Рисунок 1.16 – Общий вид игольчатой бороны

Игольчатая борона (рисунок 1.16) используется при предпосевной обработке почвы. Рабочие органы игольчатой бороны изготавливаются из пружинной стали 65Г. Агрегатирование с мотоблоком выполняется через жесткую сцепку.



Рисунок 1.17 – Общий вид роторной бороны

Борона роторная (рисунок 1.17) предназначена для выравнивания почвы после фрезерования или культивации. Ширина захвата агрегата – 1,4 м, длина секций – 0,7 м, диаметр бороны равен 0,35 м, вес одной секции составляет 9 кг.

Обзор малогабаритной техники для обработки мелкоконтурных полей показал следующее. У мотоблоков, оснащенных бензиновыми двигателями мощностью 9 л. с. (6,6 кВт) расход топлива (бензин АИ92) при обработке тяжелых почв может достигать 2,8 л/ч. У мотоблоков с дизельным двигателем мощностью 15 л. с (11 кВт) расход топлива составляет 2,0 л/ч. Но цена дизельных мотоблоков превышает стоимость мотоблоков с бензиновым двигателем в 2-3 раза и может достигать 150 тыс. руб. Для поверхностной обработки почвы на рынке имеется четыре типа фрез к мотоблокам: стандартная (с саблевидными ножами), фреза «Гусиные лапки», фреза «Целина», фреза «Активный ротор» со спиралевидными ножами. Наиболее распространенной является фреза с саблевидными ножами. Она же обладает наилучшими характеристиками при обработке легких и средних почв. Но все типы фрез не

обеспечивают за один проход требуемого качества обработки почвы под посев риса. Следовательно, необходимо осуществить усовершенствование рабочих органов фрез для повышения качества обработки почвы

1.3 Анализ теоретических исследований процесса обработки почвы

Исследованиями в области обработки почвы работал целый ряд ученых: В. П. Горячкин [24], И. Б. Борисенко [13], В. А. Дробот [30], С. И. Камбулов [35], С. Н. Капов [37], Я. П. Лобачевский [41], В. М. Бойков [11], А. А. Михайлин [47], С. В. Оськин [65], В. Б. Рыков [78], С. В. Старцев [83], К. А. Сохт [82], Б. Ф. Тарасенко [85, 86, 87], В. Е. Таркинский [88], М. И. Чеботарев [95], Л. А. Шомахов [97], и другие ученые.

Существенный вклад в разработку и совершенствование ротационных почвообрабатывающих машин внесли Ф. М. Канарев [36], И. М. Панов [67, 68, 69], Г. Н. Синеоков [81], А. К. Апажев [6], А. В. Безруков [9], М. И. Белов [10], П. И. Гаджиев [19, 20, 21], И. М. Гринчук [28], А. М. Егожев [31], Е. А. Полищук [6], Ю. А. Шекихачев [96], С. С. Яцук [98] и другие исследователи.

Наиболее полно общепринятые элементы теории процесса работы ротационных почвообрабатывающих машин изложены в работе Е. С. Босого [12].

Суммарная мощность фрезы с горизонтальной осью вращения находится по выражению:

$$N = N_{\phi} + N_o + (N_{\phi} + N_o)(1 - \eta) + N_{\pi}, \quad (1.1)$$

где N_{ϕ} , N_o , N_{π} – мощность, затрачиваемая на фрезерование, отбрасывание почвы и передвижение фрезы соответственно, Вт;

η – КПД передачи от трактора к фрезе.

Мощность, необходимая на фрезерование почвы [36]:

$$N_{\phi} = Anz \cdot 736 / (60 \cdot 75), \quad (1.2)$$

где A – работа одного ножа, Дж;

n – частота вращения фрезы, мин^{-1} ;

z – количество ножей фрезы.

$$A = \int P dl, \quad (1.2)$$

где P – сопротивление резанию одного ножа, Н;

dl – элемент пути ножа, м.

Пределы интегрирования определяются углами, соответствующими крайним точкам почвенной стружки, т.е. нулю и углу контакта [36]:

$$dl = \frac{R}{v_{\text{окр}}} \sqrt{v_{\text{окр}}^2 + v_{\text{п}}^2 + 2v_{\text{окр}}v_{\text{п}}\cos\alpha} d\alpha. \quad (1.4)$$

где R – радиус фрезы, м;

$v_{\text{окр}}$ – окружная скорость, м/с;

α – глубина фрезерования, град.

Работа одного ножа фрезы определяется по выражению [36]:

$$A = s(pb + k'\delta) \frac{R}{v_{\text{окр}}} \int_0^{\alpha_k} \sqrt{v_{\text{окр}}^2 + v_{\text{п}}^2 \pm 2v_{\text{окр}}v_{\text{п}}\cos\alpha} \sin\alpha d\alpha. \quad (1.5)$$

Для практических расчетов, значение A можно определить по упрощенной формуле [36]:

$$A = (pb + k'\delta)sa(v_{\text{окр}} + v_{\text{п}})/v_{\text{п}}, \quad (1.6)$$

где p – среднее удельное сопротивление почвы резанию, Па;

b – ширина захвата одного ножа, м;

k' – удельное сопротивление почвы резанию плоским ножом, Па;

δ – толщина ножа, м;

s – подача на один нож, м;

v_{π} – поступательная скорость фрезы, м/с.

Подставив это значение A в уравнение (1.2), найдем мощность (Вт):

$$N_{\phi} = \frac{v_{\text{окр}} \pm v_{\pi}}{v_{\pi}} \frac{(pb + k'\delta)san_z}{60 \cdot 75} 736. \quad (1.7)$$

Мощность (N_o), необходимую на отбрасывание почвы, приближенно можно рассчитать по формуле:

$$N_o = \frac{k_o B s z a \gamma v_{\text{окр}}^2}{2 \cdot 75 \cdot g} 736, \quad (1.8)$$

где k_o – коэффициент, зависящий от формы рабочих органов ($k_o = 0,85 - 1,0$; меньшее значение принимают для полевых крючков, большее – для загнутых ножей);

B – ширина фрезы, м;

γ – объемный вес почвы, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Мощность, затрачиваемая на передвижение фрезы:

$$N_{\pi} = \pm v_{\pi} P_x \cdot 736/75, \quad (1.9)$$

где P_x – горизонтальная составляющая суммарного тягового сопротивления фрезы, Н.

Г. Г. Рамазанова [76] анализирует фрезерование почвы (рисунок 1.18) как технологический процесс, состоящий из 3-х этапов: первый – расклинивание пласта ножом с образованием стружки; второй – динамическое воздействие ножа на почву при вхождении ножа в почвенный пласт; третий – перемещение частиц почвы после удара с поверхностью ножа, сопровождающееся рыхлением почвы.

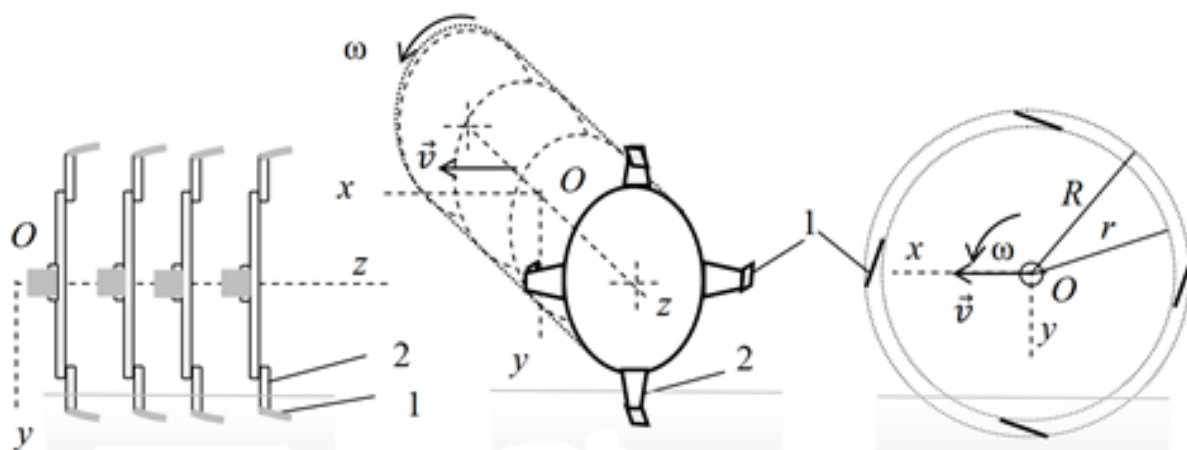


Рисунок 1.18 – Схема барабана фрезы с режущими ножами и боковинами

Удельная мощность N_y на единицу ширины захвата определялась по формуле [76]:

$$N_y = \frac{\omega m n (l_l l + S_a) \sigma d}{2\pi B}. \quad (1.10)$$

где ω – угловая скорость вращения барабана, рад/с;

m – число ножей на окружности барабана;

n – число секций (дисков) барабана;

l_l – длина ножа, м;

l – ширина захвата ножа, м;

S_a – площадь пласта, срезаемого ножом, м²;

σ – предельное напряжение смятия пласта, Н/м².

d – толщина ножа и боковины, м;

B – ширина захвата барабана, м;

А. С. Уланов [90] определил, что для обеспечения работоспособности и устойчивости движения мотоблока с плугом необходимо выполнение ряда следующих условий: определение геометрической вписываемости мотоблока с плугом в размеры участка и установление условия статической устойчивости от опрокидывания, а также обеспечение устойчивости движения при отсутствии буксования ведущих колес с почвой.

Главное условие – отсутствие буксования ведущих колес относительно почвы. Исходя из этого, с учетом действующих сил (рисунок 1.19) он составил уравнение устойчивости:

$$F_{TK\Sigma} - F_{CK\Sigma} - R_x - F_{\Pi} - F_{\Pi Д} = 0, \quad (1.11)$$

где $F_{TK\Sigma}$ – суммарная сила тяги на ведущих колесах, Н;

$F_{CK\Sigma}$ – сила сопротивления при перекаtywании колес, Н;

R_x – сила сопротивления на плуге, действующая в продольной плоскости, Н;

F_{Π} – сила трения опорной пятки о дно борозды, Н;

$F_{\Pi Д}$ – сила трения полевой доски о стенку борозды, Н.

При условии установившегося режима процесса обработки почвы, общая требуемая мощность P (кВт) определяется по формуле:

$$P = P_{ТЯГ} + P_{ПЕР} + P_{ТР}, \quad (1.12)$$

где $P_{ТЯГ}$ – мощность на преодоление сил сопротивления на плуге, кВт;

$P_{ПЕР}$ – мощность на перекаtywание ведущих колес, кВт;

$P_{ТР}$ – мощность на преодоление сил сопротивления в механизмах привода ведущих колес, кВт.

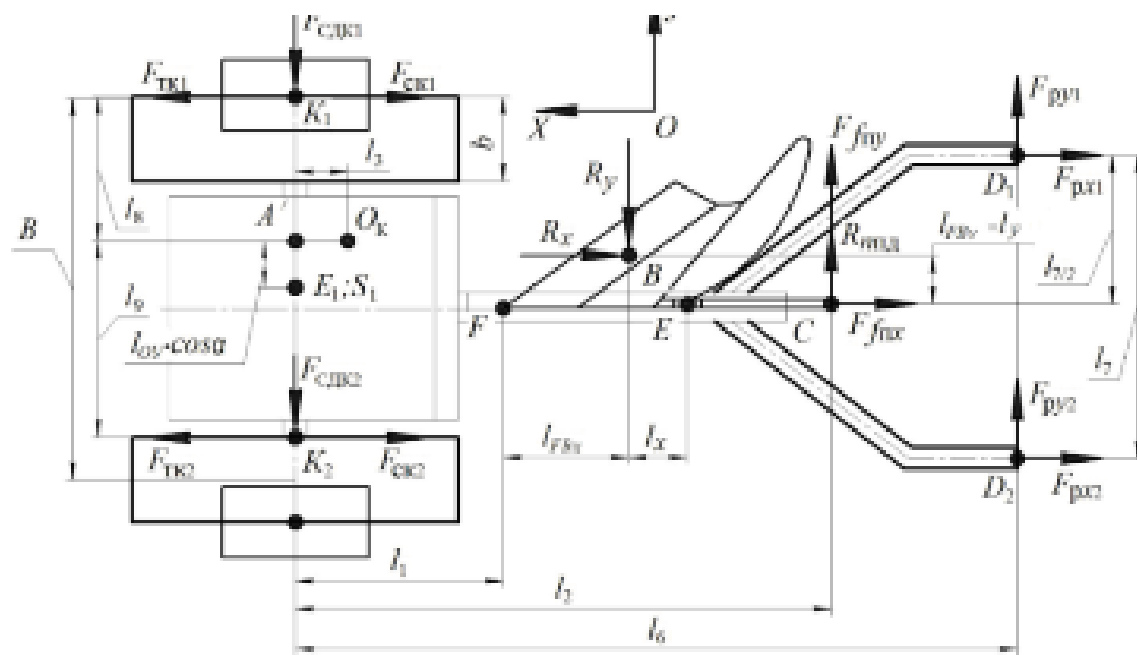


Рисунок 1.19 – Схема мотоблока с лемешно-отвальным плугом в продольно-горизонтальной плоскости

Н. Н. Андержанова [5] для малогабаритной повообрабатывающей техники предлагает после воздействия фрез (рисунок 1.20) дополнительную обработку при помощи активного игольчатого катка, активного спирального катка и пассивного игольчатого катка. Они предназначены для прикатывания почвы и измельчения ее комков после воздействия фрезы.



а – сегментная,



б – саблевидная.

Рисунок 1.20 – Общие виды фрез для малогабаритной повообрабатывающей техники

При исследовании разработанных катков получены следующие ра-

- планчатый-спиральный каток: частота вращения ротора 270 мин⁻¹, нагрузка 50 Н, степень крошения почвы 97,4%;
- спиральный каток: частота вращения ротора 340 мин⁻¹, нагрузка 50 Н, степень крошения почвы 99,8-100%;
- активный игольчатый каток: частота вращения ротора 270 мин⁻¹, нагрузка 30 Н, степень крошения почвы 92,3-92,4%;
- пассивный игольчатый каток: частота вращения ротора 340 мин⁻¹, нагрузка 50 Н, степень крошения почвы 98,2-98,4%.

а – схема СМПФ, б – силы, действующие в продольно-вертикальной плоскости

Для оценки энергоэффективности СМПФА А. В. Безруков предлагает воспользоваться интегральным показателем работы фрезы – энергоемкостью фрезерования:

$$E_{yD} = \frac{N}{W_V} \quad (1.13)$$

где $E_{уд}$ – удельная энергоемкость, кВт·ч/м³;

N – общая мощность, затрачиваемая на фрезерование почвы, кВт;

W_V – объемная производительность, м³/ч.

При работе СМПФА мощность N определяется в общем виде:

$$N = N_{\phi} + N_T + N_{TP} \quad (1.14)$$

где N_{ϕ} – мощность, затрачиваемая на фрезерование почвы, кВт;

N_T – тяговая мощность на ходовых колесах, кВт;

N_{TP} – мощность, затрачиваемая на преодоление сил сопротивления в механизмах привода фрезбарабанов и ходовых колес, кВт.

Ф. М. Канарев [36] предложил формулу для нахождения средней величины реакции почвы на один нож:

$$P_c = \frac{2\pi NR}{nz^2 \lambda l_p v_{\pi}} \quad (1.15)$$

где P_c – средняя величина реакции почвы на один нож, Н:

R – радиус фрезы, м;

n – количество дисков;

z – количество ножей на одном диске фрезы, шт.;

λ – кинематический параметр;

l_p – длина дуги резания, м;

v_{π} – поступательная скорость фрезы, м/с.

1.4 Выводы. Цель и задачи исследований

На основании обзора малогабаритной почвообрабатывающей техники и анализа теоретических исследований процесса поверхностной обработки почвы можно сделать следующие выводы:

– 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;

– определено перспективное направление совершенствования рабочих органов ротационных фрез, заключающее в разработке Г-образных ножей с дополнительными зубьями;

– анализ теоретических исследований показал, что работы Е. С. Босого и Ф. М. Канарева могут служить основой для установления аналитической зависимости затрат мощности предлагаемой конструкции рабочего органа фрезы от его параметров и режима работы.

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.

Для достижения оставленной цели необходимо решить следующие **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.

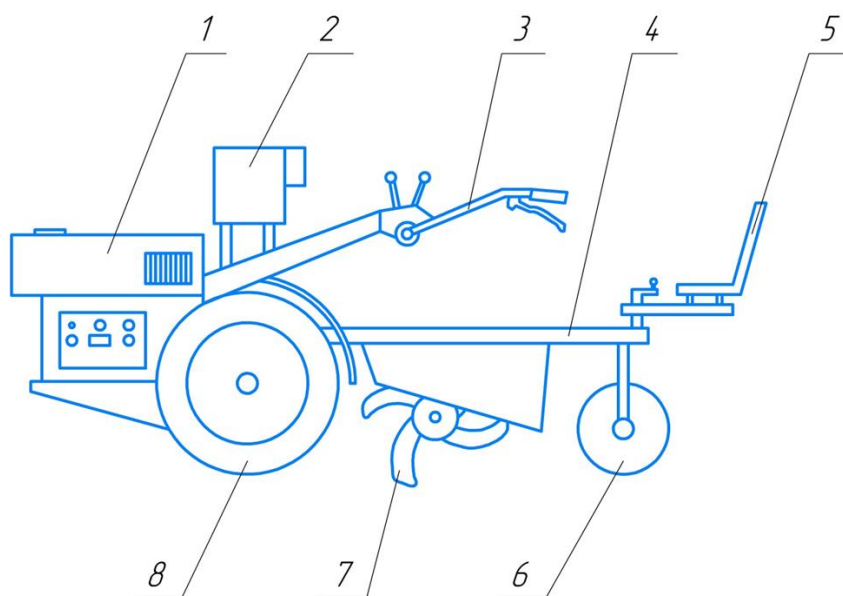
5. Выполнить сравнение фрезы с горизонтальной осью вращения и Г-образными ножами с клиновидными зубьями и наиболее распространенных фрез заводского производства по обобщенному показателю с использованием функции Харрингтона.

6. Выполнить расчет экономической эффективности применения предлагаемой почвообрабатывающей фрезы.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПОЧВЫ Г-ОБРАЗНЫМ НОЖОМ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ЗУБЬЯМИ

2.1 Обоснование конструктивной схемы технического средства для обработки почвы в мелкоконтурных рисовых чеках

На основании анализа конструкций технических средств для поверхностной обработки почвы принимаем следующую конструктивную схему технического средства для обработки мелкоконтурных рисовых чеков – рисунок 2.1. За основу принята конструкция мотоблока Файтер 15DE (китайского производства) с почвообрабатывающей фрезой и сиденьем [49].



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 2.1 – Конструктивная схема технического средства для обработки мелкоконтурных рисовых чеков

Возможно также использование мотоблока без сиденья для оператора. Выбор мотоблока зависит только от экономических возможностей владельца рисовых чеков и никак не отражается на качестве обработки почвы.

Предлагаемое техническое средство (далее мотоблок) не является транспортным средством и самоходной машиной. Поэтому на него не распространяется требование по оформлению паспорта самоходной машины и для управления не требуется удостоверение тракториста-машиниста.

Мотоблок снабжен продольным брусом, на который крепится сиденье оператора и почвообрабатывающая фреза. Последняя закрыта металлическим кожухом для предотвращения вылета частиц почвы в сторону оператора. Ширина захвата фрезы от 0,7 до 1,2 м. Скорость перемещения до 7 км/ч.

Двигатель дизельный или бензиновый мощностью до 6 кВт. Коробка передач комбинированного типа с приводом от цилиндрической шестерни. Вал отбора мощности (ВОМ) – ременной + шестеренчатый.

Сцепление однодисковое, сухого типа, фрикционное. Минимальный радиус разворота – на месте.

Тип фрезы – активная с приводом от заднего ВОМ.

Дорожный просвет – 0,2 м. Колея, регулируемая – 0,6...0,75 м.

Техническая новизна предлагаемой конструктивной схемы защищена патентами РФ на полезную модель № 215678 [71] и № 220745 [73].

2.2 Разработка рабочего органа почвообрабатывающей фрезы

Известны фрезерные ножи, имеющие на конце приваренные треугольные сегменты, имеющие форму как гусиные лапки, поэтому имеющие название «Гусиные лапки» [91].

Данный тип ножей служит для фрезерования необработанной почвы (целины).

Существенный недостаток этих ножей – предназначены для обработки свободной от растительности почвы и ровной поверхности поля.

Известен также почвообрабатывающий фрезерный нож Г-образной формы и имеющий волнистую рабочую поверхность, на которой расположены зубцы [10, 20, 21].

Данный тип ножа имеет следующие недостатки:

- величина комков почвы превышает 5 см, что не отвечает исходным требованиям на фрезерование почвы [33];
- высокая энергоемкость фрезерования;
- отсутствует регулировка угла наклона ножа по отношению к обрабатываемой почве;
- неудовлетворительное качество работы при наличии сорняков.

В качестве прототипа, который наиболее сопоставим по конструкции и качеству обработки почвы, взят нож фрезы почвообрабатывающей [7], имеющий стойку, оснащенную режущей кромкой, а также отогнутый участок, на котором со стороны режущей кромки выполнен клин, сопряженный с торцевой гранью отогнутой части, а его режущая кромка совместима с режущей кромкой ножа.

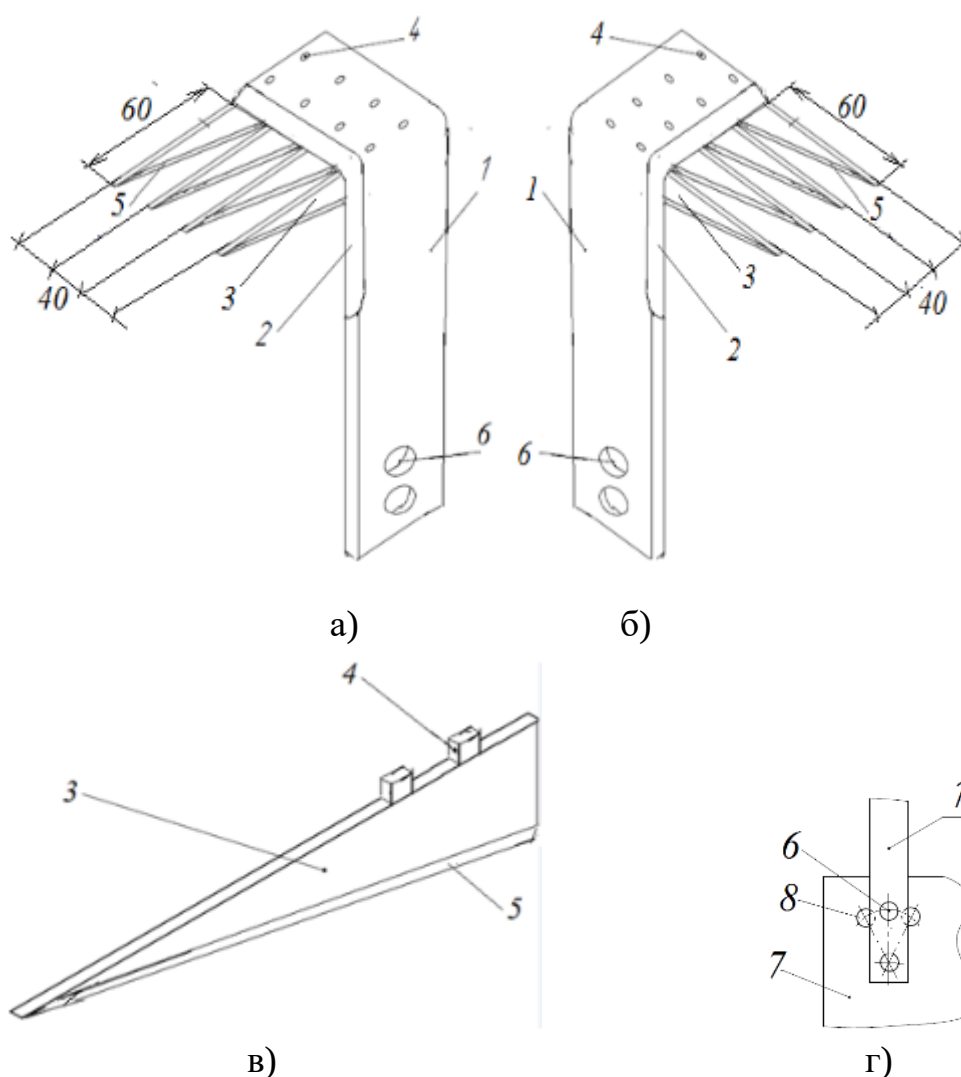
Недостатки прототипа:

- высокая энергоемкость фрезерования;
- отсутствует регулировка угла наклона ножа по отношению к обрабатываемой почве;

Цель проектируемого рабочего органа – увеличение его функций, заключающихся в возможности образовывать мелкокомковатую структуру верхних слоев почвы и наличие комков, не превышающих в диаметре 3 см, а также в способности срезания корней сорных растений и снижение энергозатрат.

Техническое решение поставленной задачи достигается тем, что по сравнению с известной почвообрабатывающей фрезой [7], к отогнутой части фрезерного ножа дополнительно жестко закреплены сварным соединением четыре, размещенные параллельно через 4 см и оснащенные в нижней части заточенной режущей кромкой, выполненные в виде прямоугольных тре-

угольников, плоских клиновидных зуба с углом при вершине 15-20° и выступающие на 6 см вперед, а стойка имеет возможность регулировки угла наклона ножа – рисунок 2.2.



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

Рисунок 2.2 – 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 [72].

Нож содержит стойки 1 с отогнутыми влево и вправо частями. Стойки 1 имеют режущую кромку 2, на которой со стороны режущей кромки выпол-

нен клин, сопряженный с торцевой гранью отогнутой части, а его режущая кромка – с режущей кромкой ножа. При этом снизу к отогнутой части жестко закреплены четыре параллельно размещенные через 4 см, выполненные в виде прямоугольных треугольников, плоских клиновидных зуба.

Клиновидные зубья 3 оснащены сверху монтажными кронштейнами 4 и заточенной режущей кромкой 5 в нижней части. Соответственно размерам монтажных кронштейнов 4 в отогнутых частях ножа выполнены отверстия для жесткого закрепления зубьев 3.

Для крепления ножей болтами стойки 1 имеют крепежные отверстия 6 и соответственно кронштейны 7 фрезы имеют три отверстия 8 для регулировки угла наклона -5° , 0° , $+5^{\circ}$.

Работа фрезы осуществляется следующим образом. При вращении фрезы клиновидные зубья 3 внедряются в почвенный пласт и делят его на три полосы с шириной до 40 мм, одновременно при этом разрезают остатки травы, корней растений за счет проскальзывания по ним её режущей кромки 5. Отделения полос почвы осуществляется режущей кромкой 2 отогнутой части стойки 1. Углы зубьев 3 при вершине равные $15-20^{\circ}$ и их выступающие на 6 см клинья способствуют снижению затраты энергии на почвообработку и перерезанию сухих веточек и корней на задерненных почвах, а также получению мелкокомковатой структуры ее верхних слоев и наличие комков не превышающих в диаметре 1,0-3,3 см. В зависимости от твердости и задерненности почвы меняют угол установки ножа 1 с помощью отверстий 6 и отверстий 8 на кронштейне 7 фрезы. При твердой плотной почве нож 1 устанавливается и фиксируется на угол -5° . С уменьшением твердости угол меняется до 0° и $+5^{\circ}$, благодаря чему расширяются функциональная возможность и снижение энергозатрат.

Применение предлагаемой фрезы позволит получать мелкокомковатую структуру почвы и наличие комков, не превышающих в диаметре 3 см, а снизит энергозатрат по сравнению с аналогичными конструкциями.

2.3 Зависимость энергоемкости обработки почвы от параметров почвообрабатывающей фрезы

Существенным недостатком применения активных ротационных машин, является их высокая энергоемкость.

Разработаем аналитические зависимости, позволяющие на этапе проектирования выполнить расчет мощности, потребляемой ротационной машиной, и провести анализ параметров, влияющих на её энергопотребление.

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

$$N = N_{\pi} + N_p + N_o, \quad (2.1)$$

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:

$$N_p = N_{pc} + N_{pz}, \quad (2.2)$$

где N_p – мощность на осуществление процесса резания, Вт;

N_{pc} – мощность резания стойкой Г-образного ножа, Вт;

N_{pz} – мощность резания зубьями, Вт.

Процесс резания почвы ножами фрезы заключается в отделении от массива почвенной стружки и дальнейшем её рыхлении рабочими органами. В отличие от орудий с пассивными рабочими органами почвообрабатывающие фрезы обеспечивают высокую степень измельчения пласта, что достигается подбором требуемого сочетания поступательной скорости агрегата, частоты вращения ротора и количества ножей на его дисках. Эта особенность фрез позволяет использовать их для подготовки к посеву, в том числе и на тяжелых и задернелых почвах [5].

На работу, выполняемую ножом и его стойкой при отрезании почвенного пласта, оказывает влияние удельная реакция почвенного пласта, общая длина режущей поверхности, а также длина дуги резания. Длина режущей поверхности может быть принята равной 0,24 м, учитывая длину режущих кромок зубьев. Отсюда:

$$A_{pc} = k_l \cdot l_n \cdot l_p, \quad (2.2)$$

где A_{pc} – работа, совершаемая ножом и его стойкой при отрезании почвенного пласта, Дж;

k_l – удельная реакция почвенного пласта, Н/м;

l_n – общая длина режущей поверхности, м;

l_p – длина дуги резания, м.

$$l_p = \int_0^{\omega t_r} \sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos \omega t} d(\omega t), \quad (2.3)$$

где l_p – длина дуги резания, м;

ω – угловая скорость, рад/с;

t_r – время оборота диска, с;

λ – кинематический параметр.

$$\omega t_r = \beta_n + \Psi_r,$$

где t_r – время оборота диска, с;

β_n – угол начала резания, град;

Ψ_r – угол конца резания, град.

$$\beta_n = \arccos\left(\frac{R-h}{R}\right), \quad (2.4)$$

где R – радиус ротора, м;

h – глубина обработки, м.

Рассмотрим взаимодействие ножа фрезы с почвой – рисунок 2.3.

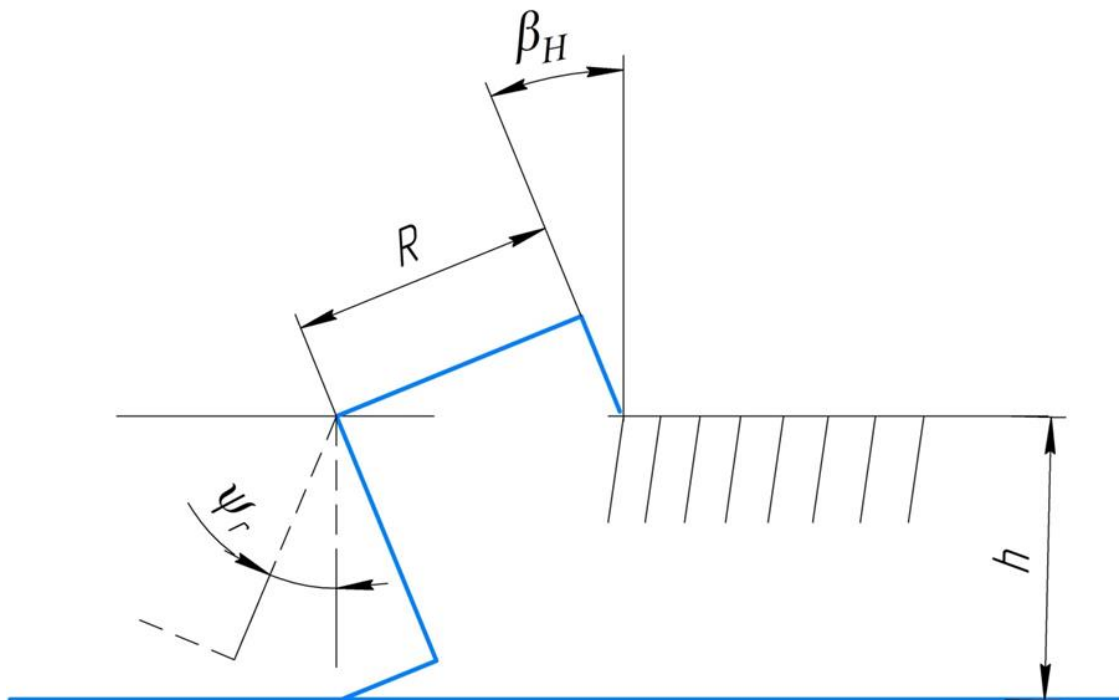


Рисунок 2.3 – Схема движения ножа в почве при прямом вращении ротора R – радиус ротора, м; β_n – угол начала резания, град; h – глубина обработки почвы, м; Ψ_r – угол конца резания, град.

Стойка ножа фрезы действует на обрабатываемый слой почвы в направлении открытой поверхности. Угол конца резания может быть определен по формуле:

$$\Psi_r \approx \frac{\pi}{[z(\lambda - 1)]}, \quad (2.5)$$

где Ψ_r – угол конца резания, град;

z – число ножей, расположенных в одной плоскости;

λ – кинематический параметр.

Из выражения (2.5) следует, что параметр λ оказывает влияние на угол конца резания. Траектория конца ротора фрезы представлена на рисунке 2.4.

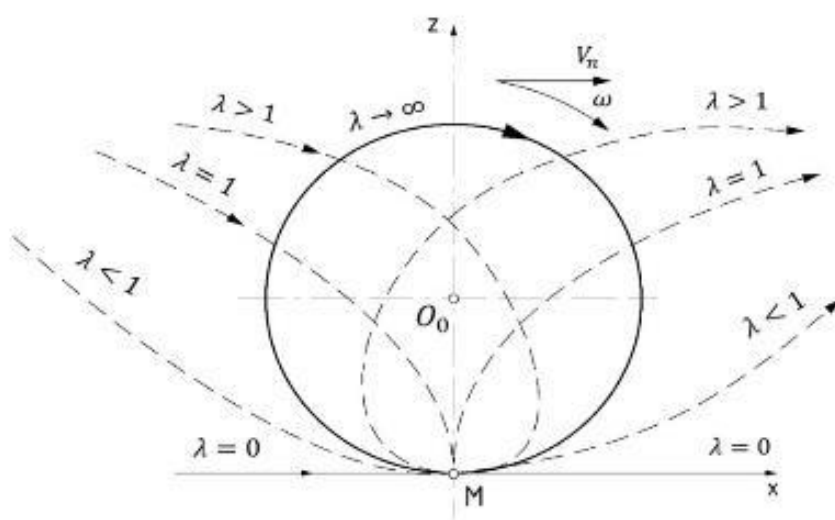


Рисунок 2.4 – Схема траектории движения точки ротора при различных значениях параметра λ

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

$$A_{pc} = k_0 \cdot S_{\pi} \cdot l_p. \quad (2.6)$$

где A_{pc} – работа, совершаемая стойкой, Дж;

k_0 – удельное сопротивление деформируемого пласта почвы, Н/м;

S_{π} – фронтальная проекция стойки, м;

l_p – длина дуги резания, м.

Величину S_{Π} найдем, спроектировав стойку на плоскость, перпендикулярную к направлению её движения. Изменение фронтальной проекции в процессе резания зависит от угла резания. Среднюю величину S_{Π} на дуге резания определим:

$$S_{\Pi} = \frac{a \cdot b \cdot (\cos \gamma_1 - \cos \gamma_2)}{\gamma_2 - \gamma_1}, \quad (2.7)$$

где S_{Π} – средняя величина фронтальной проекции стойки на дуге резания, м;

a – толщина стойки, м;

b – ширина стойки, м;

γ_1, γ_2 – углы резания соответственно в начале и конце резания, град.

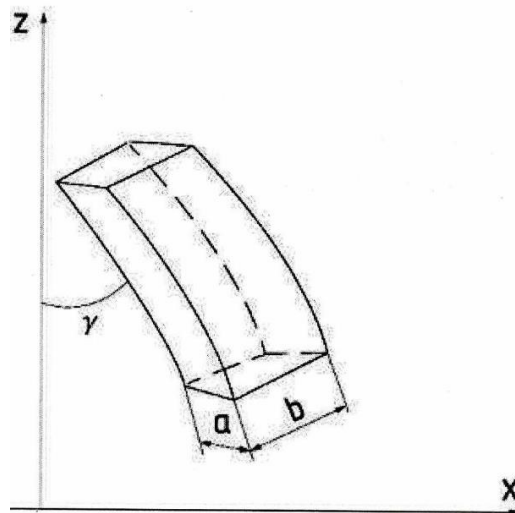


Рисунок 2.5 – Схема к определению углов резания

Новизна конструкции фрезерного рабочего органа основана на наличии клиновидных зубьев, смонтированных на отогнутой части стойки (ноже). На работу, совершаемую клиновидными зубьями, влияет удельное сопротивление деформируемого пласта почвы, фронтальная проекция зубьев и длина дуги резания:

$$A_{pz} = k_0 \cdot S_{nc} \cdot l_p. \quad (2.8)$$

где A_{pz} – работа, совержаемая клиновидными зубьями, Дж;

k_0 – удельное сопротивление, деформируемого пласта почвы, Н/м;

S_{nc} – фронтальная проекция стойки, м;

l_p – длина дуги резания, м.

Величину S_n определим, спроектировав зуб на плоскость, перпендикулярную к направлению его движения. Изменение фронтальной проекции в процессе резания зависит от угла резания. Средняя величина $S_{n.c.}$ на дуге резания равна:

$$S_{n.c.} = \frac{a_n \cdot b_n \cdot (\cos \gamma_1 - \cos \gamma_2)}{\gamma_2 - \gamma_1}, \quad (2.9)$$

где $S_{n.c.}$ – средняя величина проекции стойки на дуге резания, м;

a_n – средняя толщина зуба, м;

b_n – средняя ширина зуба, м;

γ_1, γ_2 – углы резания соответственно в начале и конце резания, град.

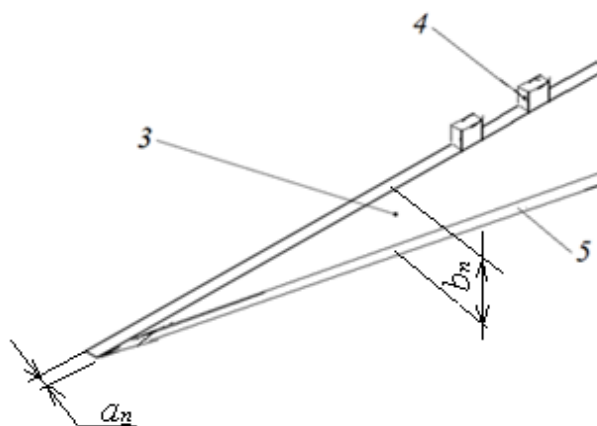


Рисунок 2.6 – Схема клиновидного зуба

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

$$N_1 = \frac{A_{pc} + 4 \cdot A_{pz}}{t_p}, \quad (2.10)$$

где N_1 – мощность, потребляемая на резание и на деформацию почвы одним ножом, Вт;

A_{pc} – работа, совершаемая стойкой, Дж;

A_{pz} – работа, совершаемая клиновидными зубьями, Дж;

t_p – время отрезания пласта одним ножом, с.

Конструктивная схема ротора составлена так, что ножи, в процессе работы, перекрывают один другого. Мощность, затрачиваемая ножами, расположенными в одной вертикальной плоскости, на резание и деформацию почвы найдем по выражению:

$$N_d = N_1 \cdot k_z, \quad (2.11)$$

где N_d – мощность, затрачиваемая ножами, расположенными в одной вертикальной плоскости, на резание и деформацию почвы, Вт;

N_1 – мощность, потребляемая на резание и на деформацию почвы одним ножом, Вт;

k_z – коэффициент, учитывающий перекрытие ножей во время работы.

Обозначая время от начального момента резания первым ножом плоскости (диска) до начала резания вторым ножом через t_n , а число ножей в одной плоскости через z , получим:

$$t_n = \frac{2\pi}{z\omega} = \frac{S}{v_n}, \quad (2.12)$$

Тогда

$$k_z = \frac{t_p}{t_n} = \frac{v_n t_p}{S}. \quad (2.13)$$

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:

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

С учетом выражений (2.2), (2.6) и (2.8) получим

$$\begin{aligned} N_{pp} &= \frac{v_n \cdot n}{S} (k_l \cdot l_n \cdot l_p + k_0 \cdot S_{к.с.} \cdot l_p + 4 \cdot k_0 \cdot S_{н.с.} \cdot l_p) = \\ &= \frac{v_n \cdot n \cdot l_p}{S} (k_l \cdot l_n + k_0 \cdot S_{к.с.} + 4 \cdot k_0 \cdot S_{н.с.}), \end{aligned} \quad (2.14)$$

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

$$N_0 = \frac{mv_0^2}{2} = \frac{\rho_{\pi} B h v_{\pi} k_{от} v^2}{2}, \quad (2.15)$$

где N_0 – мощность на отбрасывание почвы, Вт.

v_0 – скорость, отбрасывания почвы, м/с;

m – масса почвы, отброшенная в единицу времени, Н;

ρ_{π} – плотность почвы, кг/м³;

B – ширина захвата ротора, м;

h – глубина обработки, м;

v_{π} – скорость движения агрегата, м/с;

$k_{от}$ – коэффициент отношения масс отброшенной и всей срезанной почвы, определяемый экспериментально.

$$t_p = \frac{\beta_n + \Psi_r}{\omega},$$

где Ψ_r – угол, конца резания определяемый из уравнения (2.5).

Отбрасывание почвы начинается в момент прихода ножа в зону дна борозды, где его средняя скорость равна:

$$v = v_0 - v_n,$$

где v – средняя скорость ножа, м/с;

v_0 – скорость отбрасывания почвы, м/с;

v_n – скорость ножа в момент входа в почву почвы, м/с.

Тогда

$$v = v_n(\lambda - 1).$$

где v – средняя скорость ножа, м/с.

При $\lambda = const$ имеем:

$$N_o = 0,5\rho_n B h v_n^3 k_{от} (\lambda - 1)^2 = 0,5\rho_n B h k_{от} \omega^3 R^3 - \frac{(\lambda - 1)^2}{\lambda^3}.$$

где N_o – мощность на отбрасывание почвы, Вт.

Окончательно получаем:

$$N = N_n + \frac{v_n \cdot n \cdot l_p}{S} (k_l \cdot l_n + k_0 \cdot S_{\pi} + k_0 \cdot S_{n.c.}) + 0,5\rho_{\pi}Bh\nu_{\pi}^3k_{от}(\lambda - 1)^2, \quad (2.16)$$

где N – полная мощность почвообрабатывающей фрезы, Вт.

Полученное выражение характеризует зависимость, возникающую между мощностью, затраченной фрезой с клиновидными ножами, конструктивными параметрами самого ротора и его ножей, кинематическими параметрами агрегата и технологическими свойствами почвы.

По известной общей мощности, может быть получено среднее значение величины реакции почвы [5, 9] на один нож, соответствующей тяговому сопротивлению, приходящемуся на один нож:

$$P = \frac{Nt_p}{\omega z k_z l_p} = \frac{NS}{nzv_n l_p}. \quad (2.17)$$

где P – среднее значение величины реакции почвы на один нож, Н;

ω – угловая скорость ножа, рад/с;

z – число ножей, расположенных в одной плоскости;

k_z – коэффициент, учитывающий перекрытие ножей во время работы.

Подача ножа определяется по выражению:

$$S = \frac{2\pi R}{z\lambda}. \quad (2.18)$$

где S – подача ножа, м.

R – радиус рабочего органа, м;

λ – кинематический параметр.

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 (2.17) и по полученным данным построим график – рисунок 2.7.

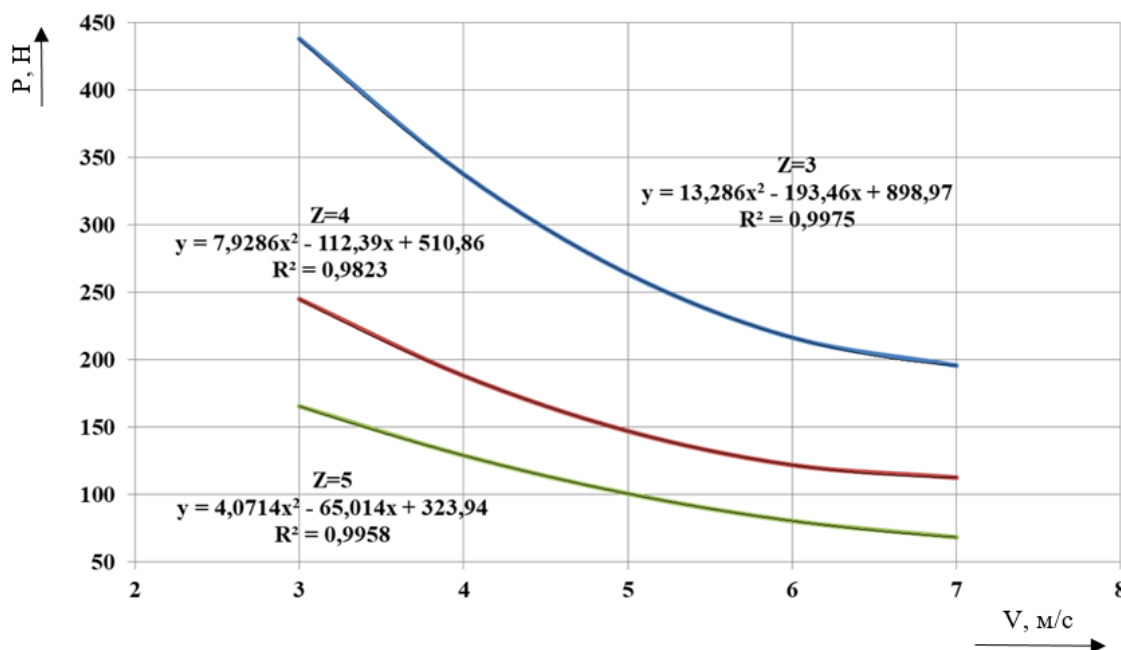


Рисунок 2.7 – Зависимость величины тягового сопротивления почвы, приходящегося на один нож, от поступательной скорости агрегата

Из анализа зависимостей на рисунке 2.7 следует, что увеличение количества ножей в плоскости резания и рост скорости агрегата обеспечивает снижение реакции почвы на рабочий орган, что совпадает с результатами исследований А. П. Акимова [2] и М. И. Белова [10].

Определим также крутящий момент, необходимый для привода рабочих органов по выражению:

$$M_{кр}^i = P \cdot R \cdot z \cdot K_d. \quad (2.19)$$

где $M_{кр}^i$ – крутящий момент, необходимый для привода рабочих органов фрезы, Нм;

P – среднее значение величины реакции почвы на один нож, Н;

z – число ножей, расположенных в одной плоскости;

K_d – количество дисков, на которых закреплено z ножей.

Из графика на рисунке 2.7 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.

Подставим имеющиеся данные в выражение (2.19):

$$\text{для } z = 3 \quad M_{кр}^3 = 445 \cdot 0,2 \cdot 3 \cdot 2 = 534 \text{ Нм};$$

$$\text{для } z = 4 \quad M_{кр}^4 = 250 \cdot 0,2 \cdot 4 \cdot 2 = 400 \text{ Нм};$$

$$\text{для } z = 5 \quad M_{кр}^5 = 165 \cdot 0,2 \cdot 5 \cdot 2 = 330 \text{ Нм}.$$

Для обработки полей, по своей площади, сопоставимых с фермерскими участками в Республики Бурунди (0,3...0,5 га) наибольшее применение находят мотоблоки с мощностью двигателя 7-8 л. с. Типичным представителем этого класса является мотоблок «Partner for garden EXPERT-70» с двигателем мощностью 7 л. с. (5,1 кВт) и частотой вращения 3600 мин⁻¹ [50]. Для привода почвообрабатывающей фрезы в этом мотоблоке используются ременная и цепная передачи, общее передаточное число которых составляет $I=31,9$.

Крутящий момент, передаваемый от двигателя на рабочие органы фрезы можно рассчитать по выражению [36]:

$$M_{кр} = 9550 \frac{N_{дв}}{n_{дв}} I. \quad (2.20)$$

где $M_{кр}$ – крутящий момент, передаваемый от двигателя на привод рабочих органов фрезы, Нм;

$N_{дв}$ – мощность двигателя, кВт;

I – общее передаточное число;

$n_{\text{дв}}$ – частота вращения двигателя, мин⁻¹.

Тогда

$$M_{кр} = 9550 \frac{5,1}{3600} 31,9 = 431,6 \text{ Нм.}$$

Следовательно, мотоблок с двигателем мощностью 5,1 кВт и частотой вращения 3600 мин⁻¹ можно использовать с двухсекционной почвообрабатывающей фрезой, у которой в одной плоскости расположены 4 или 5 ножей.

2.4 Выводы по главе

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. Для получения мелкокомковатой структуры верхних слоев почвы и комков, не превышающих в диаметре 3 см, предложена разработанная фреза с Г-образными ножами, имеющая режущую кромку стойки и отогнутую часть. При этом, снизу к отогнутой части жестко закреплены четыре параллельно размещенные через 4 см, выполненные в виде прямоугольных треугольников, плоских клиновидных зуба с углом при вершине 15-20° и выступающие на 6 см вперед.

3. 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 850 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. При поступательной скорости фрезы 3 км/ч определены крутящие моменты, необходимые для привода рабочих органов, с разным количеством ножей, расположенных в одной плоскости.

4. Рациональным является использование фрез с 4 или 5 ножами, расположенными в одной плоскости и на скорости более 3 км/ч.

3 РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа экспериментальных исследований и описание экспериментальной установки

В программу экспериментальных исследований входит:

- изготовление экспериментального образца почвообрабатывающей фрезы;
- разработка методики экспериментального исследования;
- выбор приборов для проведения исследований;
- определение оптимальных параметров почвообрабатывающей фрезы;
- сопоставление результатов экспериментальных и теоретических исследований.

При изготовлении рабочего органа фрезы за основу была принята конструкция ножа почвообрабатывающей фрезы по патенту РФ №218609 [72]. Рабочий орган фрезы с Г-образными ножами, оснащенными четырьмя плоскими клиновидными зубьями представлен на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Общий вид рабочего органа почвообрабатывающей фрезы

Геометрические размеры рабочего органа приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Размеры рабочего органа фрезы

Параметр	Значение
Диаметр фрезы, м	0,4
Количество ножей на диске, шт.	4
Ширина захвата, м	0,25
Стойка, мм:	
длина	170
ширина	35
толщина	4
Количество клиновидных зубьев на ноже, шт.	4
Клиновидный зуб:	
длина, мм	120
ширина основания, мм	40
толщина, мм	4
угол раствора клина, град	70
Диаметр диска, мм	160
Диаметр вала, мм	38

Общий вид экспериментальной установки показан на рисунке 3.2.



Рисунок 3.2 – Общий вид экспериментальной установки

Экспериментальная фреза устанавливается на мотоблок Partner for garden EXPERT-70 с бензиновым двигателем 170F мощностью 5,1 кВт с воздушным охлаждением. Удельный расход топлива составляет 395 г/кВт-ч. Частота вращения вала двигателя 3600 мин⁻¹ [50].

На мотоблок вместо ведущих колес устанавливаются две секции разработанной фрезы. Привод от двигателя идет от двухручьевой клиноременной передачи на цепную передачу, а от неё на валы секций фрезы.

Ширина захвата одной секции 0,25 м. Между секциями имеется просвет шириной 0,2 м. Обусловлено это следующим: в настоящее время в Республике Бурунди большинство технологических операций по возделыванию и уборке риса в фермерских хозяйствах выполняются вручную [4, 42. 54]. Мы механизуем только одну операцию – предпосевную подготовку почвы методом фрезерования. Поэтому, необходимо оставить технологическую дорожку, по которой фермер будет ходить для выполнения операций по уходу за посевами и уборке урожая. В нашем случае ширина такой дорожки составляет 0,2 м.

Технологический процесс обработки почвы осуществляется следующим образом. Все сорняки с обрабатываемого участка должны быть убраны. Не допускается работа на склонах, где угол подъема составляет больше 10°. На мотоблоке величина глубины фрезерования почвы осуществляется ограничителем глубины, который крепится на сцепном устройстве – рисунок 3.3.



Рисунок 3.3 – Общий вид экспериментальной установки с ограничителем глубины фрезерования почвы

Регулировка глубины фрезерования осуществляется путем крепления сошника на сцепном устройстве. На нижнем отверстии глубина минимальная, а на верхнем – максимальная. Для увеличения глубины необходимо нажать на рукоятки руля вниз, чтобы сошник глубже вошел в землю. Для уменьшения глубины рукоятки руля следует поднять. Необходимая глубина обработки устанавливается опытным путем.

Запуск двигателя осуществляется посредством пусковой рукоятки при выключенном сцеплении и рычаге переключения, находящемся в нейтральном положении.

Трансмиссия мотоблока обеспечивает две передачи вперед и одну назад. Задняя передача используется только для разворота мотоблока. Фрезерование почвы следует выполнять на второй передаче, которая обеспечивает частоту вращения фрезы 113 мин^{-1} [54]. Скорость движения мотоблока регулируется степенью открытия дроссельной заслонки, рычаг управления которой расположен на рукоятке управления мотоблоком.

3.2 Методика экспериментального исследования и применяемые приборы

Экспериментальные исследования предлагаемой фрезы проводились в июле 2024 года:

поисковые исследования – на опытном поле Кубанского ГАУ;

опыты по оптимизации параметров фрезы – в подсобном хозяйстве в станции Платнировской Кореновского района Краснодарского края;

сравнительные испытания – в организации «Рисоводческий племенной завод «Красноармейский имени А.И. Майстренко» – филиал ФГБНУ «ФНЦ Риса» (поселок Октябрьский, Красноармейский район, Краснодарский край) – приложение 2.

Экспериментальные исследования проводились с учетом требований СТО АИСТ 4.2–2010 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и орудия для поверхностной и мелкой обработки почвы. Методы оценки функциональных показателей».

Длина участка (гона) составляла 50 м.

Глубину обработки измеряли линейкой, погружая ее в почву до необработанного слоя. Измерения проводили в середине участка в четырех точках по следу рабочего органа с интервалом 1 м по ходу движения машины. Повторность измерения в каждой точке по ширине захвата фрезы трехкратная. Погрешность измерения глубины ± 1 см.

Время прохождения участка измеряли при помощи секундомера механического однокнопочного СОПр-2а-3-000.

Крошение почвы определяли по пробам, отбираемым в четырех точках участка (две по ходу движения левой секции фрезы, две по ходу движения правой секции) с площадок $0,25 \text{ м}^2$ на глубину обработки не ранее, чем через час после прохода машины. Пробу переносили на решето с диаметрами отверстий, равным 30 мм. Просеивали. Затем содержимое решета взвешивали с погрешностью ± 50 г. Взвешивали и просеянную часть пробы. Для взвешивания использовались весы лабораторные ВЛКТ-500 с максимальным пределом взвешивания 500 г, ценой деления 1 г и погрешностью взвешивания ± 20 мг. Массовую долю комков размеров более 30 мм (содержимое решета) вычисляли по формуле:

$$P_{30} = \frac{(m_n - m_k) \cdot 10^2}{m_n}, \quad (3.1)$$

где P_{30} – массовая доля комков размером менее 30 мм, %;

m_n – масса всей пробы, кг;

m_k – масса комков диаметром более 30 мм, кг.

Вычисления проводят до первого десятичного знака.

Влажность почвы определяют с погрешностью не более 1 %. Пробы на влажность отбирают почвенным буром или ножом из стенки почвенного разреза в пяти местах, расположенных по диагонали участка. Для почвообрабатывающих фрезотбор проб проводят через 5 см на глубину до 15 см.

Образец отобранной почвы высыпают в тару, перемешивают и насыпают почву массой 30-40 г в алюминиевый, пронумерованный и заранее взвешенный стаканчик (бюксу).

Перед взвешиванием стаканчики с почвой плотно закрывают. Далее стаканчики помещают в крышки и помещают в лабораторный сушильный шкаф SNOL 58/350 для сушки при температуре 105 °С в течение 6 ч и потом взвешивают. Для сушки проб использовался лабораторный сушильный шкаф SNOL 58/350.

Количество воды в навеске находят по разнице массы до и после сушки. По разнице массы пустого стаканчика и с высушенной почвой вычисляют массу сухой почвы. Погрешность взвешивания составляет ± 10 мг.

Абсолютную влажность почвы находят по выражению:

$$W_n = \frac{m_g}{m_n} 10^2. \quad (3.2)$$

где W_n – влажность почвы, %;

m_g – масса воды, испарившейся из пробы, г;

m_n – масса абсолютно сухой почвы, г.

Определение плотности почвы проводили согласно ГОСТ 20915-2011 [25]. Пробы почвы отбирали в пяти местах по диагонали обрабатываемого участка на глубину 12 см. Образцы отбирали почвенным буром АМ-16.

Объем почвы с ненарушенным сложением, помещенной в цилиндре, определяют по формуле:

$$V_n = \frac{\pi d^2}{4} h. \quad (3.3)$$

где V_n – объем цилиндра почвы, см³;

d – диаметр цилиндра, см;

h – высота цилиндра, см.

Объемную массу почвы вычисляют по формуле:

$$\rho = \frac{m_n}{V_n}. \quad (3.4)$$

где ρ – плотность почвы, г/см³;

m_n – масса почвы, г;

V_n – объем цилиндра почвы, см³.

Расход топлива измерялся при помощи мерного цилиндра, закрепленного на топливном баке – рисунок 3.4.



Рисунок 3.4 – Общий вид мерного цилиндра, закрепленного на мотоблоке

Погрешность измерения мерным цилиндром $\pm 1 \text{ см}^3$. После прохождения участка определяли объем израсходованного топлива (бензин АИ92).

3.3 Оптимизация параметров и режима работы почвообрабатывающей фрезы

Разработанная конструкция почвообрабатывающей фрезы позволяет провести алгоритмизированный эксперимент с двумя управляемыми факторами: x_1 – поступательная скорость движения фрезы, км/ч; x_2 – угол наклона зубьев ножей, град. Данные факторы были выбраны на основании собственных поисковых исследований и изучения научно-технической информации по исследованию ротационных почвообрабатывающих машин [5, 20, 55, 56, 57, 59, 60].

В качестве критерия оптимизации использовали удельный расход топлива на единицу площади (л/га).

В качестве ограничения использовали степень крошения почвы (массовая доля комков почвы). Согласно исходных требований на базовые машинные технологические операции в растениеводстве, разработанных ФГНУ Россинформагротех [33], при фрезеровании массовая доля комков диаметром менее 5 см должна быть не менее 90%. Нами было принято решение на основании рекомендаций, изложенных в работе [17], учитывать массовую долю комков диаметром менее 3 см.

Исследования проводились в станице Платнировской Краснодарского края Кореновского района в июле 2024 г. Влажность почвы составляла 60%, а плотность $1,1 \text{ г/см}^3$. Анализ почвы проведен с помощью специалистов агрохимической лаборатории Кубанского ГАУ.

Известно, что зависимость показателей процесса обработки почвы от параметров ротационных почвообрабатывающих фрез носит нелинейный харак-

тер [36, 67]. Поэтому математическую модель процесса обработки почвы экспериментальной фрезой с клиновидными зубьями искали в форме полинома второй степени.

Для постановки эксперимента выбрали симметричный композиционный двухфакторный план Бокса B_k [1, 16, 23]. Факторы, интервалы и их уровни варьирования приведены в таблице 3.2, а матрица плана эксперимента в таблице 3.3.

Области факторного пространства были выбраны на основании собственных поисковых опытов и анализа научной литературы [58, 44, 63].

Таблица 3.2 - 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

Таблица 3.3 – Матрица планирования эксперимента

Кодированное значение переменных		Поступательная скорость движения фрезы V , км/ч	Угол наклона зубьев ножей α , град.	Расход топлива G , л/га
x_1	x_2			
+1	+1	7	90	12,6
-1	+1	3	90	12,3
+1	-1	7	80	16,3
-1	-1	3	80	20,0
+1	0	7	85	7,14
-1	0	3	85	9,14
0	+1	5	90	24,3
0	-1	5	80	14,3

В каждом опыте определяли расход топлива (л/га) при глубине обработки почвы 12 см. Измерения проводили по длине работы агрегата на участке длиной 50 м в 3-х кратной повторности, а среднее значение записывали в таблицу 3.3.

После обработки полученных данных получили следующее уравнение с мнимыми коэффициентами:

$$Y = 14,01 - 1,42x_1 - 1,955x_2 + 0,99x_1x_2 - 7,24x_1^2 - 6,325x_2^2 \quad (3.5)$$

где Y – погектарный расход топлива, л/га;

x_1 – поступательная скорость движения фрезы;

x_2 – угол наклона зубьев ножей.

Для проверки на значимость коэффициентов уравнения регрессии и проверки на адекватность математической модели по критерию Фишера было проведено дополнительно пять опытов в центре плана, для определения дисперсии опыта таблица 3.4.

Таблица 3.4 – Опыты в центре плана

Кодированное значение переменных		Поступательная скорость движения фрезы V , км/ч	Угол наклона зубьев ножей α , град.	Расход топлива G , л/га
x_1	x_2			
0	0	5	85	15,2
0	0	5	85	10,4
0	0	5	85	14,1
0	0	5	85	12,9
0	0	5	85	16,8

Число степеней свободы составляет 4, табличное значение критерия Стьюдента равно 2,78. Дисперсия составила 23,388. Доверительные интервалы коэффициентов уравнения регрессии приведены в приложении 3.

Все коэффициенты данного уравнения оказались значимы.

Расчетное значение критерия Фишера составило $F_P=3,973$, что меньше табличного $F_T=6,04$ [23, 64]. Следовательно, уравнение (3.5) адекватно описывает процесс фрезерования.

Формулы для перевода действительных значений факторов в мнимые по данным таблицы 3.2 имеют вид:

$$x_1 = \frac{X_1 - 5}{2}; \quad x_2 = \frac{X_2 - 85}{5};$$

Продифференцировав уравнение 3.5 по каждой из переменных, приравняли производные нулю и получили систему линейных уравнений в частных производных:

$$\begin{cases} \frac{dy}{dx_1} = -1,42 + 0,99x_2 + 14,48x_1; \\ \frac{dy}{dx_2} = -1,955 + 0,99x_1 - 12,65x_2. \end{cases} \quad (3.6)$$

Из решения системы (3.6) определили координаты центра поверхности отклика: $x_1 = 0,108$; $x_2 = -0,146$. Подставив в исходное уравнение (3.5) значения x_1 , x_2 , нашли значения параметра оптимизации в центре поверхности отклика $Y_s = 14,08$ л/га.

Выполнили каноническое преобразование. Для этого перенесли уравнение (3.5) в новую систему координат и повернули координатные оси на угол поворота $\alpha=8,647^\circ$ от первоначальных осей координат поверхности отклика до совмещения с главными осями фигуры. После преобразований уравнение (3.5) в канонической форме имеет следующий вид:

$$Y - 14,08 = 7,258X_1^2 - 6,343X_2^2, \quad (3.7)$$

Для дальнейшего изучения поверхности отклика (3.7) выполнили его двухмерное сечение с целью определения влияния факторов на отклик вблизи оптимума. Полученная поверхность отклика, представленная на рисунке 3.5, является гиперboloидом вращения, а оптимальное значение отклика находится в точке с координатами: $x_1 = 0,108$; $x_2 = -0,146$. Коэффициенты уравнения регрессии в канонической форме (3.7) указывают на это, поскольку имеют разные знаки.

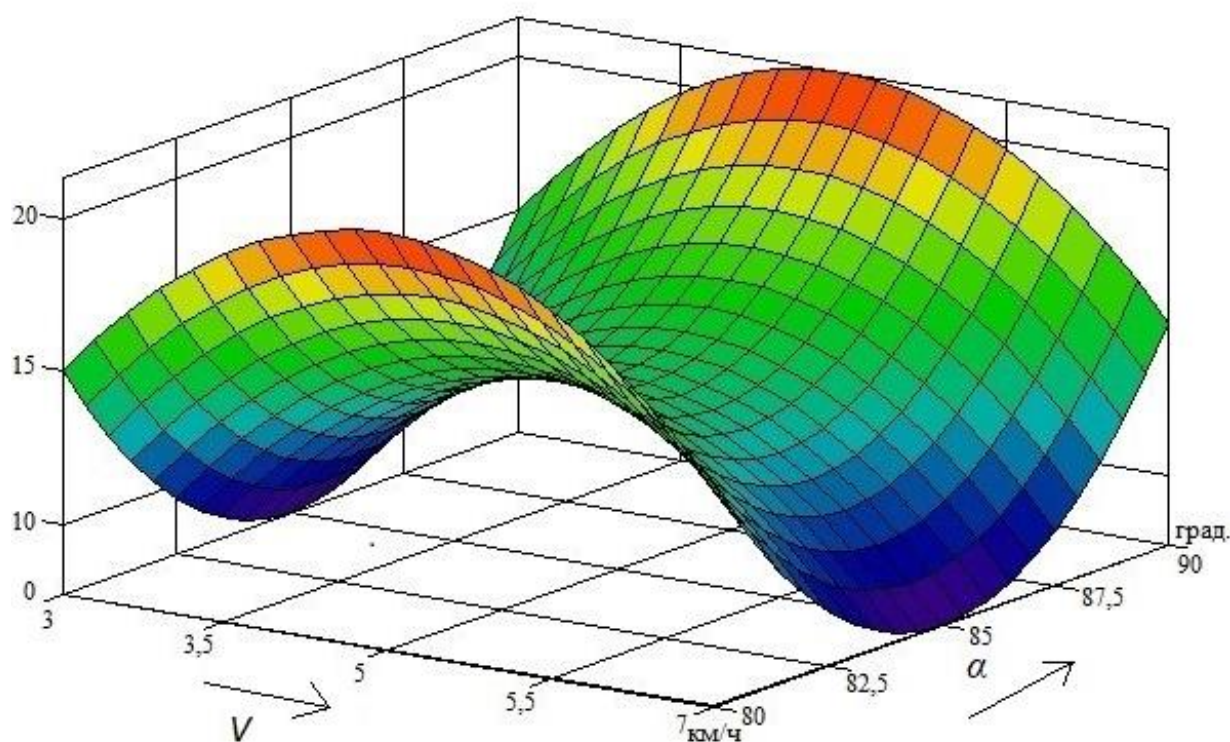


Рисунок 3.5 – Поверхность отклика зависимости погектарного расхода топли-ва (G) от поступательной скорости фрезы (V) и угла наклона зубьев (α)

Задавая значения отклика Y и подставляя их в канонические уравнение (3.7), получили семейство сопряженных изолиний (линий равного выхода) – рисунок 3.6.

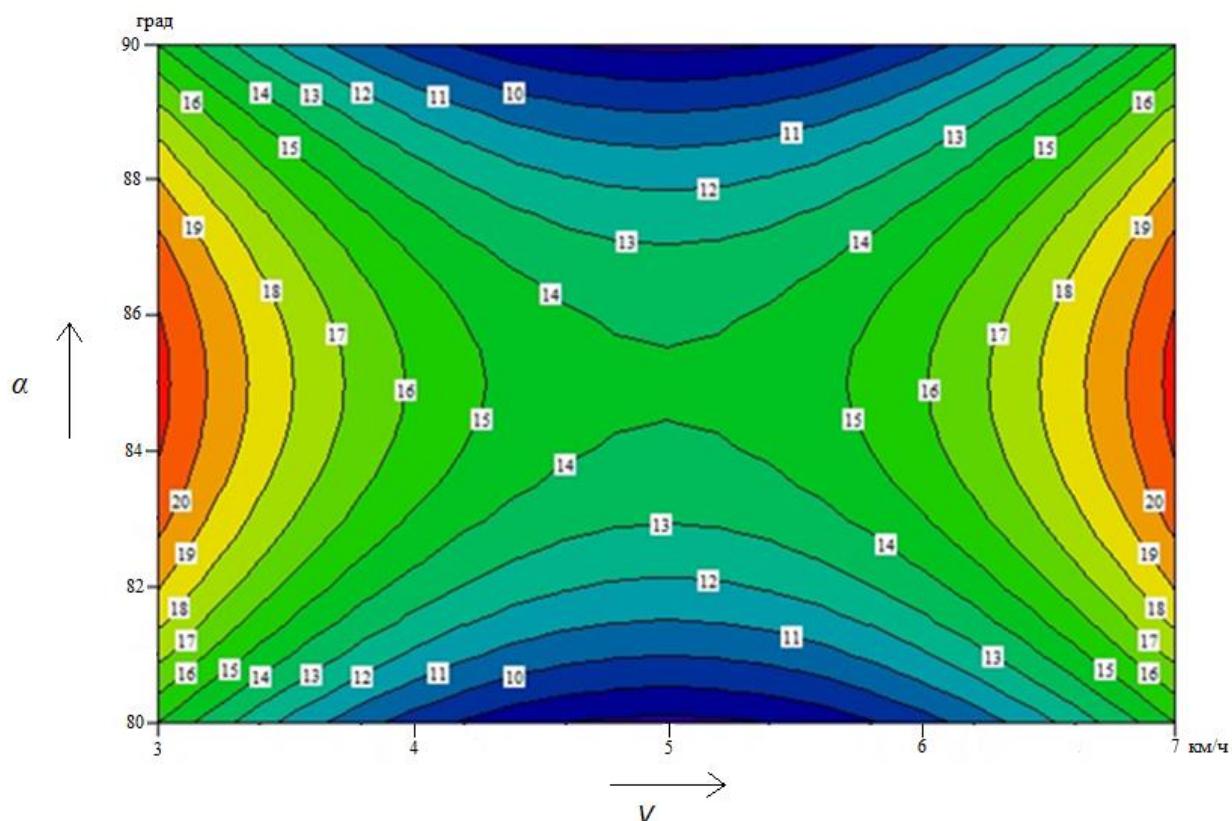


Рисунок 3.6 – Линии равного выхода погектарного расхода топлива

Изолинии, полученные в результате сечения поверхности отклика имеют вид мини-макс. Как следует из анализа рисунка 3.6 поступательная скорость движения фрезы меньше влияет на расход топлива, чем второй фактор – угол наклона ножа.

Таким образом, минимальный погектарный расход топлива составляет $G=14,08$ л/га. Достигается он при поступательной скорости движения фрезы $V=5,2$ км/ч и угле наклона ножей $\alpha=84,3$ град.

3.4 Сопоставление результатов теоретических исследований с экспериментальными данными

Сравним результаты теоретических исследований по зависимости величины тягового сопротивления почвы, приходящегося на один нож, от поступательной скорости фрезы (графики на рисунке 2.8) с экспериментальными данными.

Сравнение проведем следующим образом. В ходе эксперимента установлено, что минимальный расход топлива (14,08 л/га) достигается при поступательной скорости движения фрезы 5,2 км/ч и угле наклона ножей 84,3 град.

В уравнение (3.5) подставим оптимальное значение $x_2 = -0,146$, что соответствует оптимальное углу наклона ножей 84,3 град:

$$Y = 1,81x_1^2 - 18,882x_1 + 63,322. \quad (3.8)$$

Проанализируем расход топлива вблизи оптимального значения скорости движения фрезы 5,2 км/ч или в кодированном виде $x_1 = 0,108$ в интервале 4,8...5,4 км/ч или в кодированном виде -0,1...+0,2. Результаты запишем в таблицу 3.5.

Таблица 3.5 – Сравнение теоретических и экспериментальных данных

Скорость фрезы, км/ч	Расход топлива, л/га		Разница	
	теория	эксперимент	л/га	%
4,8	15,407	14,391	-1,016	-6,60
4,9	15,052	14,258	-0,794	-5,28
5,0	14,714	14,162	-0,552	-3,75
5,1	14,39	14,102	-0,289	-2,01
5,2	14,083	14,078	-0,005	-0,04
5,3	13,792	14,090	0,2984	2,16
5,4	13,516	14,139	0,6224	4,61

В теоретических исследованиях нами было определено тяговое сопротивление, приходящееся на один нож, а не расход топлива. Известно, что тяговое сопротивление и расход топлива находятся в функциональной зависимости. Расчет расхода топлива в зависимости от тягового сопротивления фрезы выполним в следующей последовательности. Из рисунка (2.8) возьмем уравнение $P=f(V)$ для четырех ножей, расположенных в одной вертикальной плоскости ($Z=4$):

$$P = 0,7929V^2 - 11,239V + 51,086. \quad (3.9)$$

Известно, что часовой расход топлива определяется по следующей формуле [12]:

$$G_{\text{ч}} = \frac{g \cdot N}{1000 \cdot \rho}. \quad (3.10)$$

где $G_{\text{ч}}$ – часовой расход топлива, л/га;

g – удельный расход топлива, г/кВт·ч;

N – полная мощность почвообрабатывающей фрезы, кВт;

ρ – удельная плотность бензина, кг/дм³.

Для двигателя мотоблока Partner $g = 395$ г/кВт·ч [54], а $\rho = 0,74$ кг/дм³.

Полную мощность, затрачиваемую на работу фрезы определим по выражению (2.16).

Погектарный расход топлива находится по формуле:

$$G_{\text{уд}} = \frac{G_{\text{ч}}}{W_{\text{ч}}}. \quad (3.11)$$

где $G_{\text{уд}}$ – удельный расход топлива, л/га;

$G_{\text{ч}}$ – часовой расход топлива, л/га;

$W_{\text{ч}}$ – часовая производительность фрезы, г/ч.

$$W_{\text{ч}} = 0,1 \cdot B_{\text{р}} \cdot V_{\text{п}}. \quad (3.12)$$

где $W_{\text{ч}}$ – часовая производительность фрезы, г/ч.

$B_{\text{р}}$ – ширина захвата фрезы, м;

$V_{\text{п}}$ – скорость движения фрезы, км/ч.

Подставив в выражение (3.11) данные, полученные по формулам (2.16), (3.10) и (3.12), получим теоретический расход топлива, который занесем в таблицу 3.5.

Анализ данных таблицы 3.5 показывает, что вблизи оптимального значения скорости движения фрезы 5,22 км/ч, в интервале 4,8-5,4 км/ч расхождение между теоретическими значениями погектарного расхода топлива и экспериментальными данными не превышает 7%. Рядом с оптимальной скоростью фрезы 5,2 км/ч в диапазоне 5,1-5,3 км/ч расхождение составляет менее 3%. Данный результат можно считать вполне удовлетворительным.

После проведения эксперимента по определению оптимальных параметров экспериментальной фрезы, мы провели сравнительное испытание с заводской фрезой с саблевидными ножами (рисунок 3.7) шириной захвата 1,2 м. В качестве энергетического средства использован мотоблок «PARTNER for garden», с мощностью 5,1 кВт.



Рисунок 3.7 – Мотоблок «PARTNER for garden» с заводской фрезой с саблевидными ножами

Полевые испытания фрез были проведены согласно следующим требованиям ГОСТ 54783-2011 [26]:

- техническое состояние машины должно отвечать требованиям руководства по эксплуатации;
- проводить испытания сравнимых машин на одном и том же поле и в одно и то же время.

Испытания проводились в станице Платнировской Краснодарского края Кореновского района в июле 2024 г. Опыты проводились в трехкратной повторности. Среднее значение результатов полевых испытаний почвообрабатывающих фрез представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Основные результаты полевых испытаний фрез

Фреза	Длина гона, (м)	Ширина захвата фрезы, м	Скорость движения мотоблока, км/ч	Расход топлива, кг/га	Массовая доля комков почвы диаметром менее 3 см, %	Производительность, га/ч
Заводская с саблевидными ножами	50	1,2	5	10,7	58	0,6
Экспериментальная	50	0,7	5	10,7	92	0,37

Из анализа данных таблицы 3.6 следует, что удельный расход топлива у обеих фрез одинаковый, но качество рыхления у экспериментальной фрезы выше. Заводская фреза с саблевидными ножами обладает более высокой производительной из-за большей ширины захвата. Но для достижения требуемого качества почвы необходим как минимум еще один проход. Следовательно, расход топлива увеличится в два раза, а эксплуатационная производительность снизится в два раза.

Для более объективного сравнения различных типов фрез провели комплексную оценку наиболее распространенных фрез используя функцию желательности (функцию Харрингтона).

3.5 Комплексная оценка предлагаемой фрезы с использованием функции желательности

Комплексную оценку фрез для обработки почвы на мелкоконтурных участках выполнили с использованием функции желательности (кривой Харрингтона) [43], которая включает систему показателей, имеющих следующие подсистемы.

1. Эксплуатационная подсистема – производительность W , га/ч.
2. Общетехническая подсистема показателей – металлоёмкость (вес фрезы) G , кг.
3. Расход топлива G_t , кг/га.
4. Подсистема агротехнических показателей – степень крошения почвы или размеры комков почвы K , мм.
5. Экономическая подсистема показателей – цена фрезы по средней стоимости стали U , руб.

В таблице 3.7 приведены численные значения показателей подсистем.

Таблица 3.7 – Показатели подсистем и их весомость

Показатель	Тип фрезы				k- 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_t - 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

Для комплексной оценки почвообрабатывающих фрез используем метод анализа и синтеза сравниваемых конструкций, а также функцию желательности Харрингтона [62] (рисунок 3.8), модернизированную нами применительно к поставленной задаче.

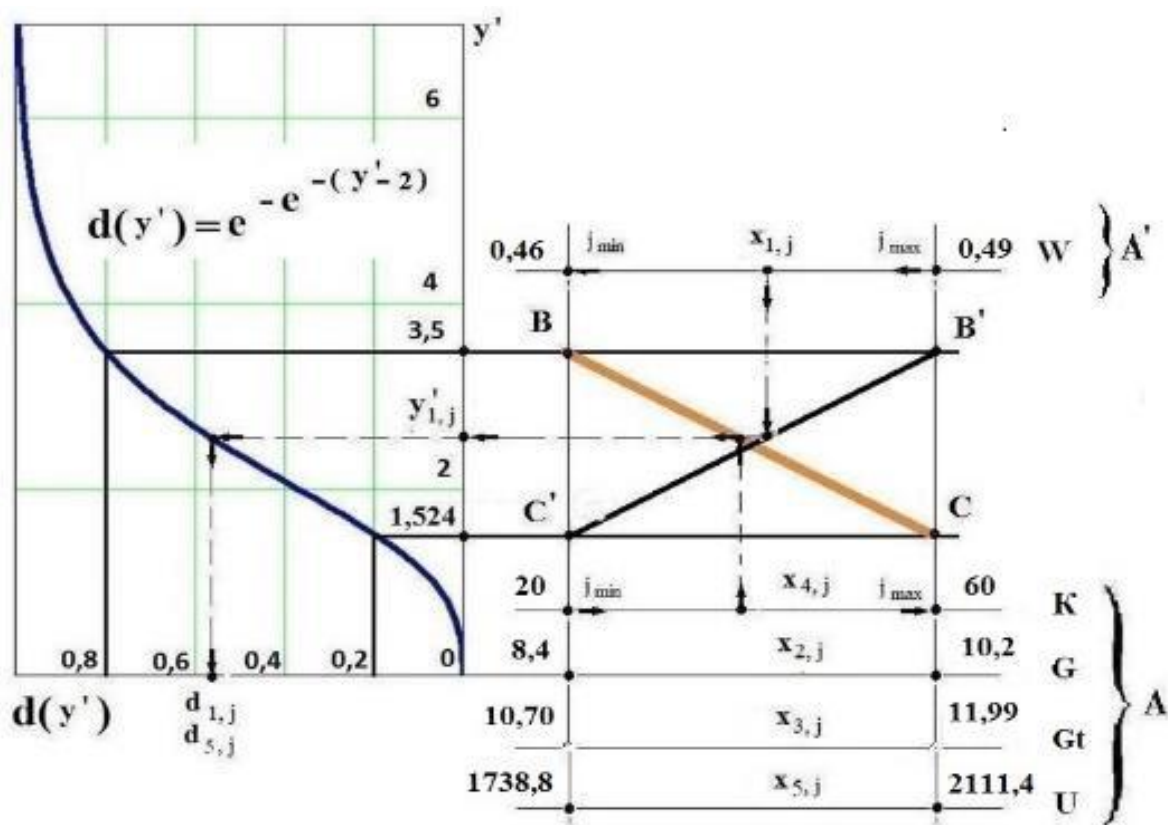


Рисунок 3.8 – Модернизированная функция Харрингтона:

A – прямые шкалы желательности (K, G, G_t, U); A' – обратные шкалы желательности (W); BC, B'C' – полученные графическим построением прямые для проектирования значений показателей шкал A и A' на кривую Харрингтона.

Продолжение прямых из точек 3,5 и 1,524 вправо с продолжением прямых, ограничивающих длину оценочных шкал A и A' формирует на их пересечение точки B' и C', соединив которые, получили прямую B'C' для перевода значений j-ых оценочных показателей шкал A в безразмерные на шкалу y' и далее на шкалу желательности d(y'). При этом прямая BC используется для перевода значений прямых шкал (K – размеры комков почвы, мм; G – вес фрезы, кг; G_t – расход топлива, кг/га; U – цена фрезы, руб). Прямая B'C' используется для перевода значений обратных шкал A' (производительность W, га/ч). Значение показателя обратной шкалы A' изменяются от максимального до минимального значений. Это связано с характером изменения функции желательности d(y'), значение которой возрастают при увеличении значений y' от 1,524 до 3,5.

Перевод измеренных значений j -ых оценочных показателей со шкал A и A' на безразмерную шкалу окончательных показателей на безразмерную шкалу y' выполняется по выведенным нами зависимостям:

$$y'_1 = \frac{1,976 \cdot x_1 + 1,524(a_{1max} - a_{1min}) - 1,976 \cdot a_{1min}}{a_{1max} - a_{1min}} = 65,867 \cdot x_1 - 28,775 \quad (3.13)$$

$$y'_2 = \frac{-1,976 \cdot x_2 + 3,5(a_{2max} - a_{2min}) + 1,976 \cdot a_{2min}}{a_{2max} - a_{2min}} = -1,098 \cdot x_2 + 12,721 \quad (3.14)$$

$$y'_3 = \frac{-1,976 \cdot x_3 + 3,5(a_{3max} - a_{3min}) + 1,976 \cdot a_{3min}}{a_{3max} - a_{3min}} = -1,532 \cdot x_3 + 19,890 \quad (3.15)$$

$$y'_4 = \frac{-1,976 \cdot x_4 + 3,5(a_{4max} - a_{4min}) + 1,976 \cdot a_{4min}}{a_{4max} - a_{4min}} = -0,049 \cdot x_4 + 4,488 \quad (3.16)$$

$$y'_5 = \frac{-1,976 \cdot x_5 + 3,5(a_{5max} - a_{5min}) + 1,976 \cdot a_{5min}}{a_{5max} - a_{5min}} = -0,0063 \cdot x_5 + 14,871 \quad (3.17)$$

где, зависимость 3.13 – характеризует $A'(W)$, а зависимости 3.14-3.17 соответственно $A(K, G, G_b, U)$; $y'_1, y'_2, y'_3, y'_4, y'_5$, – безразмерные значения оценочных j -ых показателей, соответственно, производительности, металлоемкости, расхода топлива, крошения и цены; $a_{max(min)}^j$ – максимальное и минимальное значения показателей шкал A и A' безразмерные значения y' каждого оценочного -го показателя по каждой i -ой фрезе.

Согласно функции Харрингтона рассчитывают желательности

$$d_{ji} = e^{-e^{-(y'_{ji}-2)}} \quad (3.18)$$

где d_{ji} – желательность j -го оценочного показателя по каждой i -ой фрезе;

e – число Непера;

y'_{ji} – безразмерное значение j -го оценочного показателя по каждой i -ой фрезе;

2 – смещение кривой Харрингтона вправо на 2 единицы безразмерного значения y' .

Последний обобщенный критерий комплексной оценки i -ой фрезы D_i определяется также по функции Харрингтона, учитывая весомость j -го оценочного показателя в долях от единицы.

$$D_i = \sqrt[n]{\prod_1^n d_i^{k_j}} \quad (3.19)$$

где D_i – обобщенный критерий комплексной оценки i -ой фрезы;

n – количество сравниваемых фрез;

k_j – весомость j -го оценочного показателя в долях от единицы.

Наибольшее значение D_i определяет выбор решения по i -ой фрезе.

Получив значение D_i по каждой i -ой фрезе можно принять решение о выборе лучшего варианта. Для анализа результатов мы вычисляли D_i с коэффициентами весомости оценочных показателей и без них. Согласно полученным данным расчётов по предлагаемому методу можно принимать решение о лучшем варианте фрезы. Предварительно округлили значения показателей D_i до второго знака после запятой (таблица 3.8).

Таблица 3.8 – Обобщенные показатели сравниваемых фрез

Номер фрезы	Сравниваемые фрезы	Обобщенные оценочные показатели	
		без учета коэффициентов весомости, D_i	с учетом коэффициентов весомости, D_i^k
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

Согласно обобщенному показателю комплексной оценки четырех фрез (таблица 3.8) без учёта коэффициента весомости частных оценочных показателей j наибольшее значение $D_i = 0,632$ имеет место для экспериментальной фрезы, а наименьшее сегментной «гусиные лапки» ($D_i = 0,389$) и барабанной ($D_i = 0,363$). У стандартной «саблевидной фрезы $D_i = 0,518$. Разница в значениях оценочных показателей D_i между лучшей экспериментальной и двумя худшими сегментной и барабанной составляет 0,27 и 0,24 единицы, или 42,8 и 38,1 %, что имеет существенное значение для принятия решения.

Таким образом, можно сделать вывод о преимуществе экспериментальной фрезы перед фрезами сегментной, барабанной и стандартной. Преимущество достигается за счет повышения качества крошения почвы.

3.6 Выводы по главе

1. Изготовлен экспериментальный образец почвообрабатывающей фрезы с горизонтальной осью вращения, Г-образными ножами и клиновидными зубьями, с возможностью изменения конструктивно-режимных параметров.

2. Разработана методика проведения двухфакторного эксперимента с использованием математического планирования эксперимента.

3. В результате реализации плана Бокса-Бенкина для двухфакторного эксперимента были получены оптимальные параметры и режим работы экспериментальной почвообрабатывающей фрезы: угол наклона зубьев ножей 84,30, 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 85^0 и скорости 4,8-5,4 км/ч) расхождение не превышает 7 %.

5. Сравнительное испытание экспериментальной фрезы с заводской с саблевидными ножами на скорости 5 км/ч с использованием мотоблока «Partner for garden EXPERT-70» показало следующее: удельный расход топлива у обеих фрез оказался одинаковым 10,7 кг/га, но качество крошения у экспериментальной фрезы выше – массовая доля комков менее 3 см составила 92% против 58% у заводской фрезы.

6. 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.

4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЕДЛАГАЕМОЙ ФРЕЗЫ

На основании результатов комплексной оценки четырех наиболее распространенных почвообрабатывающих фрез (см. подраздел 3.6 настоящей работы), агрегируемых с мотоблоками мощностью до 7 кВт, сравнивать предлагаемую фрезу будем с фрезой с саблевидными ножами производства АК «Туламашзавод», как наиболее распространенной в производстве и по комплексной оценке сопоставима с разрабатываемой фрезой [66].

Расчеты экономической эффективности будем вести согласно рекомендаций [27, 29, 45, 46].

Исходные данные для экономического расчета [50] представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Исходные данные для расчета экономических показателей

Показатель	Предлагаемая фреза	Заводская фреза
Мотоблок	Partner for garden EXPERT-70	Partner for garden EXPERT-70
Мощность, кВт	5,1	5,1
Масса фрезы, кг	25,1	28,0
Ширина захвата, м	0,7	1,2
Площадь обрабатываемой земли, га	10	10
Производительность, га/ч	0,37	0,3
Расход топлива, кг/га	10,7	21,4
Стоимость бензина АИ92, руб./кг	78,4	78,4
Норма амортизационных отчислений, %	12,5	12,5
Норма отчислений на ремонт и технической обслуживание, %	12,5	12,5

При расчете часовой производительности и удельного расхода топлива было принято во внимание следующее обстоятельство: для обеспечения требуемой массовой доли комков земли (диаметром менее 3 см) заводской фрезой необходимо сделать два прохода. Поэтому у заводской фрезы производительность в два раза меньше, а расход топлива в два раза больше, в сравнении с однократным проходом.

В дальнейших расчетах мотоблок с фрезой будем обозначать термином «агрегат».

Часовая производительность агрегата определяется по формуле [12]:

$$W_{\text{ч}} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot \tau, \quad (4.1)$$

где B_p – рабочая ширина захвата фрезы, м;

V_p – рабочая скорость агрегата, км/ч;

τ – коэффициент использования времени, $\tau = 0,75$ [29].

Затраты труда H_y равны:

$$H_{y.} = \frac{L}{W_{\text{ч}}}, \quad (4.2)$$

где L – количество работников, обслуживающих агрегат, чел;

$W_{\text{ч}}$ – часовая производительность агрегата, га/ч.

Годовая (сезонная) экономия труда определяется по формуле:

$$\Delta H = (H_y^3 - H_y^{\text{п}}) \cdot W_{\text{г}}^{\text{п}}, \quad (4.3)$$

где ΔH – годовая (сезонная) экономия труда, чел.-ч;

$H_y^3, H_y^{\text{п}}$ – затраты труда соответственно по заводскому и предлагаемому агрегату, чел.-ч/га;

$W_{\text{г}}^{\text{п}}$ – годовая выработка предлагаемого агрегата, га.

Производительность труда $P_{\text{т}}$ определяется по формуле:

$$P_{\text{т}} = \frac{W_{\text{ч}}}{L}, \quad (4.4)$$

Рост производительности труда от применения предлагаемого агрегата рассчитывается по формуле:

$$P_p = \frac{\sum P_T^p}{\sum P_T^z}, \quad (4.5)$$

где P_p – рост производительности труда, раз;

P_T^p, P_T^z – производительность труда в предлагаемом и заводском вариантах соответственно, га/чел.-ч.

Годовой экономический эффект $\mathcal{E}_{\text{год}}$ от снижения эксплуатационных затрат рассчитывается по выражению:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = Z_z^z - Z_p^z, \quad (4.6)$$

где Z_z^z, Z_p^z – эксплуатационные затраты по заводскому и предлагаемому вариантам соответственно, руб./га.

Эксплуатационные затраты определяются по выражению

$$Z^z = C^z + C^a + C^{p.to} + C^{тсм} + C^{пр}, \quad (4.7)$$

где C^z – затраты на оплату труда с отчислениями на социальные нужды, руб./га;

C^a – амортизационные отчисления, руб./га;

$C^{p.to}$ – отчисления на ремонты и техобслуживание, руб./га;

$C^{тсм}$ – затраты на топливо и смазочные материалы, руб./га;

$C^{пр}$ – прочие прямые затраты, руб./га.

$$C^z = \frac{m_q L}{W_q} K_T K_{\text{соц}}, \quad (4.8)$$

где m_q – часовая тарифная ставка работника, руб./ч;

L – количество работников, обслуживающих агрегат, чел.;
 K_T – коэффициент доплаты к тарифному фонду работника;
 $K_{\text{соц}}$ – коэффициент отчислений на социальные нужды;
 W_u – часовая производительность агрегата, га/ч.

Амортизационные отчисления равны:

$$C^a = \frac{K_M \times a_M}{100 \times W_T}, \quad (4.9)$$

где K_M – стоимость агрегата, руб.;

a_M – годовая норма амортизационных отчислений, %\$

W_T – годовая выработка предлагаемого агрегата, га.

Затраты на ремонты и техобслуживание рассчитываются по формуле

$$C^{p.to} = \frac{K_M \times p_{p.to}}{100 \times W_T} \quad (4.10)$$

где $p_{p.to}$ – годовая норма отчислений на ремонты и техническое обслуживание, %.

Дополнительные капиталовложения K_d (затраты на модернизацию агрегата) можно определить по формуле:

$$K_d = K_{p.m} + K_n + K_{mз} + K_{зп} + K_{пр} \quad (4.11)$$

где $K_{p.m}$ – затраты на расходные материалы, руб.;

K_n – затраты на покупные изделия, руб.;

$K_{mз}$ – транспортно-заготовительные расходы, руб.;

$K_{зп}$ – заработная плата работников с отчислениями на социальные нужды, руб.;

$K_{\text{пр}}$ - общепроизводственные и общехозяйственные расходы, руб.

Общепроизводственные и общехозяйственный расходы определяются в размере 4 % от зарплаты с отчислениями на социальные нужды.

Затраты на топливо и смазочные материалы (ТСМ):

$$C_{\text{ТСМ}} = g \cdot Z_k, \quad (4.12)$$

где g – норма расхода топлива, кг/га;

Z_k – комплексная цена ТСМ, руб./кг.

По состоянию на 01.07.2025 комплексная цена ТСМ составляла 78,4 руб./кг.

Прочие прямые затраты определяются

$$C_{\text{пр}} = 0,04 \cdot C_3, \quad (4.13)$$

Важным показателем эффективности предлагаемой разработки является срок окупаемости дополнительных капиталовложений, определяемый по формуле:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_d}{\mathcal{E}_{\text{год}}} \quad (4.14)$$

где $T_{\text{ок}}$ - срок окупаемости дополнительных капиталовложений

$\mathcal{E}_{\text{год}}$ – годовой экономический эффект, руб./год;

K_d - размер дополнительных капиталовложений, руб.

Важным показателем эффективности является также коэффициент фактической эффективности капиталовложений:

$$E_{\phi} = \frac{\mathcal{E}_{\text{год}}}{K_d} \quad (4.15)$$

где E_{ϕ} - коэффициент фактической эффективности капиталовложений;

Для полноты оценки рассчитывает удельную материалоемкость и энерго-

емкость сравниваемых агрегатов:

$$M_y = \frac{M_{ag}}{W_r}, \quad (4.16)$$

где M_y – удельная материалоемкость, кг/га;

M_{ag} – масса агрегат, кг;

W_r – годовая выработка предлагаемого агрегата, га.

$$A_y = \frac{N_{дв}}{W_ч}. \quad (4.17)$$

где A_y – удельная энергоёмкость, кВт-ч/га;

$N_{дв}$ – эффективная мощность двигателя, кВт;

$W_ч$ – часовая производительность агрегата, га/ч.

Результаты расчета экономической эффективности представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Экономическая эффективность предлагаемого агрегата

Показатель	Значение		Эффект	
	заводской	предлагаемый	абсолютный	относительный, %
Производительность, га/ч	0,3	0,37	0,07	23,3
Расход топлива, кг/га	21,4	10,7	-10,7	-50,0
Эксплуатационные затраты, руб./га	2282,79	1322,67	-960,12	-42,06
Материалоемкость, кг/га	1,24	0,94	-0,30	-24,13
Энергоемкость, кВт-ч/га	17,00	13,78	-3,22	-18,92
Дополнительные капиталовложения, руб.	16864,50			
Годовая экономия эксплуатационных затрат, руб./год	18236,16			
Срок окупаемости, лет	0,92			
Коэффициент эффективности капиталовложений	1,08			

Выводы по главе

Анализ выполненных расчетов по вариантам сравниваемых почвообрабатывающих фрез показал высокую эффективность предлагаемой фрезы. Производительность возрастает с 0,3 га/ч до 0,37 га/ч. Сокращаются эксплуатацион-

ные затраты на 42 %, расход топлива на 50%, металлоемкость на 24 %, энерго-
емкость на 19 %. Ожидаемый годовой экономический эффект от снижения экс-
плуатационных затрат составит - 18236 руб./год, а срок окупаемости – 0,92 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

1. Обоснована конструктивная схема фрезы с горизонтальной осью вращения и Г-образными ножами с клиновидными зубьями, позволяющая за один проход обеспечивать массовую долю комков почвы диаметром менее 3 см более 90 %. Новизна технического решения подтверждена патентом РФ на полезную модель № 218609.

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.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер [и др.] – М.: Наука, 1978. – 279 с.
2. Акимов, А. П. Ротационные рабочие органы - движители. – М.: Изд-во МГОУ, 2004. – 233 с.
3. Алешин, Е. П. Рис. Обновление культуры // «Наука и человечество» (Международный ежедневник) – М. : «Знание», 1984. С. 130–141.
4. Ангоранка Одиль Айему: Анализ сельскохозяйственного сектора Бурунди, 2004 г. [Режим доступа]: https://www.ipcinfo.org/fileadmin/user_upload/
5. Андержанова, Н. Н. Обоснование конструкции и параметров малогабаритных почвообрабатывающих орудий к мотоблоку: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01 / Н. Н. Андержанова. – Йошкар-Ола : ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет», 2022. - 20 с.
6. Апажев, А. К. Обоснование параметров рабочего органа фрезы для террасного садоводства/ А.К. Апажев, А.М. Егожев, Е.А. Полищук, А.А. Егожев// Сельский механизатор: науч. - произв. журн.- 2021. № 9. - С. 8 - 9.
7. А.С. СССР №1155169, МПКА01В 33/10. Нож почвообрабатывающей фрезы / В.А. Ерофеев, Н.Д. Келлер, Г.П. Варламов и А.А. Носков: Всесоюзный институт сельскохозяйственного машиностроения им. В.П. Горячкина, опубл. 15.05.1985.
8. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин / Артоболевский И. И. // - М.: Наука. 1988. - 640 с.
9. Безруков, А. В. Повышение эффективности функционирования самоходной малогабаритной почвообрабатывающей фрезы за счет адаптации ее режимов к условиям работы: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01 / А.В. Безруков.– Саранск: - ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева». - 2016.- 20.с.

10. Белов, М. И. Оценка энергоемкости фрезы с плоскими геликоидными ножами для сплошной обработки почвы / М. И. Белов, П. И. Гаджиев, К. Л. Коваль // «Тракторы и сельскохозяйственные машины», №11, 2009 г. с.27-33.
11. Бойков, В. М. Механико-технологическое обоснование эффективных способов и технических средств основной обработки почвы: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В.М. Бойков.- Саратов, 1998. - 35 с.
12. Босой, Е.С. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин / Е. С. Босой [и др.]. – М.: Машиностроение, 1977. – 568 с.
13. Борисенко, И. Б. Совершенствование ресурсосберегающих и почвозащитных технологий и технических средств обработки почвы в острозасушливых условиях Нижнего Поволжья: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / И. Б. Борисенко; Чебоксары, 2006. –53 с.
14. Бороны для мотоблоков: [Режим доступа]: https://xn--90aigmnha5a.xn--p1ai/catalog/navesnoe_oborudovanie/borony/
15. Бороны и окучники для мотоблоков: [Режим доступа]: <https://www.vseinstrumenti.ru/category/borony-i-okuchniki-dlya-motoblokov-4340/>
16. Веденяпин, Г. В. и др. Экспериментальные исследования сельскохозяйственных процессов / изд. 2-е перераб. и доп. – М: «Колос», 1988. – 220 с.
17. Воробьев, В. И. Перспективный комплекс машин для возделывания риса в полях севооборота // Рисоводство. Научный журнал. Выпуск 5. – Краснодар, 2004. – С. 88–96.
18. (Исследовательский институт в Бужумбуре, Бурунди), ISTEERU <https://africaresearchconnects.com/institution/9000226498/>
19. Гаджиев, П. И. Анализ крошения почвы методом полнофакторного эксперимента / П. И. Гаджиев [и др.] // Вестник МичГАУ:.. – 2019. – №4. – С. 15 – 18.

20. Гаджиев, П. И. Выбор оптимальных параметров и режимов работы фрезы с ножами зубцеобразной формы / П.И. Гаджиев, К.А. Манаенков, А.И. Алексеев // Наука и образование. – 2019. – №2.
21. Гаджиев, П. И. Исследование работы почвообрабатывающей фрезы с зубчатым лезвием ножей / П. И. Гаджиев, [и др.] - Агроинженерия, 2020, №1, С.14-18.
22. Гахиро Леонидас. Конкурентоспособность рисовых секторов Бурунди: рис имбо и болотный рис. [Режим доступа]: <https://www.semanticscholar.org/author/Léonidas-Gahiro/120124739>.
23. Голикова, Т. И. Каталог планов второго порядка / Т. И. Голикова, Л. А. Панченко, М. З. Фридман. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1974. - Ч. 1. - 387 с.
24. Горячкин, В. П. Собр. соч. / В. П. Горячкин. – М.: Колос, 1968. – Т. 2. – 460 с.
25. ГОСТ 20915-2011 Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний - М.: Стандартинформ, 2020. - 24 с.
26. ГОСТ 54783-2011 Испытания сельскохозяйственной техники. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2020. – 20 с.
27. ГОСТ 53056-2008 Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – М.: Стандартинформ, 2009. – 20 с.
28. Гринчук, И. М. К основам выбора основных конструктивных параметров и режимов работы почвенной фрезы / И. М. Гринчук, Ю. И. Матякин // Тракторы и сельхозмашины. – 1989, № 1. – С. 25–28.
29. Драгайцев, В. И. Методика экономической оценки технологий и машин в сельском хозяйстве / В. И. Драгайцев, Н. М. Морозов. – М.: Колос 2010. – 145 с.
30. Дробот, В. А. Оптимизация параметров процесса поверхностной обработки почвы горизонтально расположенными дисковыми рабочими органами / В.А. Дробот, В.В. Цыбулевский. - Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2010. № 23. - С. 181-186.

31. Егожев, А. А. Вертикальная фреза для обработки приствольных полос интенсивного сада/ А.К. Апажев, А.М. Егожев, В.Б. Дзуганов, А.А. Егожев// Сельский механизатор: науч. - произв. журн.- 2023. № 5. - С.28 - 30.
32. Зеленский, Г. Л. Селекция риса на повышение его продуктивности (обзор) / Г. Л. Зеленский, О. В. Зеленская. - Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2024;185(1)
33. Исходные требования на базовые машинные технологические операции в растениеводстве. М.: ФГНУ Росинформагротех. – 2005. 270 с.
34. Комплекс машин для возделывания и уборки риса //Системы машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства на 2005–2015 г.г. Часть 1 – М.: 2005. – С. 282–295.
35. Камбулов, С. И. Механико-технологическое обоснование повышения эффективности функционирования сельскохозяйственных агрегатов: дис. д-ра техн. наук / С. И. Камбулов; ВНИПТИМЭСХ – зерноград, 2008. – 368 с
36. Канарев, Ф. М. Ротационные почвообрабатывающие машины и орудия / Ф. М. Канарев. – М.: Машинстроение, 1983. – 142 с.
37. Капов, С. Н. Механико-технологические основы разработки энергосберегающих почвообрабатывающих машин: дис. д-ра техн. наук / С. Н. Капов; ЧГАУ – Челябинск, 2008. – 356 с.
38. Кильдюшкин, В. М. Совершенствование системы основной обработки почвы в эрозионноопасных и равниннозападинностепных агроландшафтах западного предкавказья: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / В. М. Кильдюшкин. – Курск, 2005. – 50 с.
39. Климат – Бурунди: Средняя погода, температура, осадки, солнечный свет [Режим доступа]: <https://www.climatestotravel.com/climate/burundi>
40. Комплекс машин для возделывания и уборки риса //Системы машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства на 2005–2015 г.г. Часть 1 – М.: 2005. – С. 282–295.

41. Лобачевский, Я. П. Современное состояние и тенденции развития почвообрабатывающих машин / Я. П. Лобачевский, Л. М. Колчина. — М.: Росинформатех, 2005 – 116 с.
42. Маниракиза Робер. Анализ состояния экономики сельского хозяйства республики Бурунди // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. С. 399-401
43. Маслов, Г. Г. Функция Харрингтона в исследованиях сельскохозяйственной техники / Г. Г. Маслов [и др.] - Таврический вестник аграрной науки. – 2022. – № 3(31). – С. 116-124.
44. Мельников, С. В. Планирование эксперимента в исследовании сельскохозяйственных процессов / С. В. Мельников [и др.] - Изд. 2-е перераб. и доп. – М. : «Колос», 1982. – 171 с.
45. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. Часть 1– М. : 1998. – 180 с.
46. Методические рекомендации по определению общего экономического эффекта от использования результатов НИР и ОКР в АПК. РАСХН, 2007. – М.: – 31 с.
47. Михайлин. А. А. Обоснование рациональной формы наральника стоек глубокихрыхлителей / А. А. Михайлин, В. П. Максимов // Вестник НГИЭИ. - 2021. - № 8 (123). - С. 21-32.
48. Мотоблок Champion BC1193 Инструкция по эксплуатации. [Режим доступа]:
https://champion.ru/manual/rukovodstvo_po_ekspluatatsii_motoblok_s_valom_otbora_moschnosti_champion_vs_1193.pdf?ysclid=mf9se8s5rm580873740
49. Мотоблок FIGHTER 15DE. Инструкция по эксплуатации: [Режим доступа]:
https://vashtraktor.ru/Instruksii/Motoblok_Fyter_compressed_2_.pdf?srsltid=AfmBOor4C40d_vNolxSq2v7vGrV-PNmiPHM3OArH4vOcmz_om3mLollC
50. Мотоблок Partner for Garden EXPERT-70 Руководство по эксплуатации: [Режим доступа]: <https://mcgrp.ru/files/viewer/1024834/1>

51. Мотоблок ЗУБР МТБ-400 Инструкция по эксплуатации [Режим доступа]: https://zubr-shop.ru/pdf/ZUBR_MTB_400_instruction.pdf?ysclid=mf9sgg0ywh199237276
52. Мотоблок КаДви Угра НМБ-1Н14: Инструкция по эксплуатации [Режим доступа]: <https://kadvi.ru/wp-content/uploads/2017/07/ugra-manual-1.pdf?ysclid=mf9s4wwylz905636835>
53. Мотоблок Нева МБ2-B&S (CR950) Инструкция по эксплуатации [Режим доступа]: https://motoblok.ru/upload/medialibrary/da7/rukovodstvo_po_ekspluatatsii_motobloka_neva_mb2.pdf
54. Национальное сельскохозяйственное обследование Бурунди, 2016–2017. [Режим доступа]: <https://share-net-burundi.org/wp-content/uploads/2017/07/EDS-III.pdf>
55. Нийомувуньи, А. Параметры технологического процесса обработки почвы под посев риса в условиях республики Бурунди. ВКР / Анжелос Нийомувуньи. – Краснодар, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», 2020, 89 с.
56. Нийомувуньи, А. Агрегат для подготовки почвы под посадку риса в Бурунди с гибридной силовой установкой / А. Нийомувуньи, Б.Ф. Тарасенко. - В сборнике: Энергоресурсосбережение и энергоэффективность: актуальные вопросы, достижения и инновации. Сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции. Нальчик, 2023. С. 207-212.
57. Нийомувуньи А. Инновационный агрегат для подготовки почвы под посадку риса в Бурунди / А. Нийомувуньи, Б.Ф. Тарасенко. - Мичуринский агрономический вестник. 2022. № 4. С. 72-76
58. Нийомувуньи, А. 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
59. Нийомувуньи, А. Инновационный агрегат для подготовки почвы под посадку риса в Бурунди / А. Нийомувуньи, Б.Ф. Тарасенко Б.Ф.- В сборнике:

Вопросы фундаментальных и прикладных научных исследований. Сборник статей международной научной конференции. Санкт-Петербург, 2023. С. 28-32.

60. Нийомувуньи, А. 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).

61. Нийомувуньи, А. Средство подготовки почвы под посадку риса в Бурунди / А. Нийомувуньи, Э. Хавьяримана, Б.Ф. Тарасенко.- Сборник тезисов по материалам Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых 15 ноября 2022 года.- С.877- ФГБОУ ВО КубГАУ.

62. Нийомувуньи, А. Комплексная оценка средств малой механизации для обработки почвы с использованием функции желательности (кривой Харрингтона) / Б.Ф. Тарасенко, В.В. Цыбулевский, А. Нийомувуньи. - Краснодар. (Научный журнал КубГАУ), № 207. 2025.- С. 79-88.

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

64. Новик, Ф. С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф. С. Новик, Я. Б. Арсов. М.; София, 1980. - 304 с.

65. Оськин, С. В. Имитационное моделирование при формировании эффективных комплексов почвообрабатывающих агрегатов – еще один шаг к точному земледелию: монография / С. В. Оськин, Б. Ф. Тарасенко. – Краснодар: Изд-во ООО «КРОН», 2015. – 292 с.

66. Официальный сайт «Акционерная компания «Туламашзавод». [Режим доступа]: <https://www.tulamash.ru/o-predpriyatii/>

67. Панов, И. М. К обоснованию кинематических и технологических параметров ротационных почвообрабатывающих машин / И. М. Панов. - Труды ВИСХОМ. Выпуск 85. М., 1985. – С. 15–35.

68. Панов, И. М. Механико-технологические основы расчёта и проектирования почвообрабатывающих машин с ротационными рабочими органами / И. М. Панов. - Дис. д-ра техн. наук: 20.01.05. М., 1983. 382 с.
69. Панов, И. М. Энергобаланс машинно-тракторного агрегата (МТА) с ротационной почвообрабатывающей машиной /И.М. Панов, В.А. Юзбашев // Труды ВИСХОМ. Выпуск 85 – М., 1985. – С. 3–12 .
70. Патент РФ № 2619456, МПК А01В 35/28, А01В 33/06, А01В 61/04, А01В 39/18. Устройство для предпосевной обработки почвы / Б. Ф. Тарасенко, С.В. Оськин, В.А. Дробот и др.: ФГБОУ ВПО «КубГАУ», опубл.: 16.05.2017, Бюл. № 14
71. Патент РФ №215678, МПК А01В 39/00. Агрегат для подготовки почвы под посадку риса в Бурунди / Б. Ф Тарасенко, А. Нийомувуньи. - ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина». - Оpubл.: 21.12.2022 Бюл. № 36
72. Патент РФ №218609 МПК А01В 39/00. Нож почвообрабатывающей фрезы / Б. Ф. Тарасенко, А. Нийомувуньи, В.А. Дробот и др. - ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет». – Оpubл.: 01.06.2023 Бюл. № 16
73. 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».- Оpubл.: 02.10.2023 Бюл. № 28
74. Патент РФ №221949 МПК А01В 39/00 Испытательное устройство для измерения тягового сопротивления ротационных фрез мотоблока / Б. Ф. Тарасенко, Н. И. Богатырев, А. Нийомувуньи и др.- ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет».- Оpubл.: 01.12.2023 Бюл. № 34.
75. Плуги для мотоблоков. [Режим доступа]: <https://www.vseinstrumenti.ru/tag-page/plugi-dlya-motoblokov-2881/>

76. Рамазанова, Г. Г. Параметры и режимы работы фрезы для предпосадочной обработки почвы под картофель: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01 / Г. Г. Рамазанова – М.: РГАЗУ, 2016. –17с.
77. РТМ 44-62. Методика статистической обработки эмпирических данных. - М.: Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР, 1965. - 100 с.
78. Рыков, В. Б. Разработка эффективных мобильных технологических агрегатов для условий юга России / В. Б. Рыков [и др.]. - Краснодар: 2019. 265 с
79. Серов, В. В. Сбор риса интергруппой МЫ УЧИМСЯ ЛЮБИТЬ (TURWIZE URUKUNDO) / В. В. Серов. - Эффективность инвестиционных процессов в региональном АПК //АПК: экономика, управление. 2005, № 12
[Режим доступа] <https://fiaburundi.org/la-recolte-du-riz-par-cla-turwize-urukundo/>.
80. Сельскохозяйственный словарь-справочник, тяговое сопротивление: [Режим доступа]: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/agriculture/>
81. Синеоков, Г. Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков, И. М. Панов. – М.: Машиностроение, 1977. – 325 с.
82. Сохт, К. А. Машинные технологии возделывания зерновых культур: дис. в виде науч. докл. ... д-ра техн. наук / К.А. Сохт. – Краснодар, 2002. – 60 с.
83. Старцев, С. В. Снижение металлоемкости технологии вспашки / С. В. Старцев // Техника в сельском хозяйстве. - 2006. - N 2. - С. 36-37.
84. Тарасенко, Б. И. Обработка почвы : учеб. пособие / Б. И. Тарасенко [и др.]. – 3-е перераб. и доп. изд. – Краснодар : КубГАУ, 2015. – 176 с
85. Тарасенко, Б. Ф. Конструктивно-технологические решения энергосберегающего комплекса машин для предупреждения деградации почв в Краснодарском крае: монография / Б. Ф. Тарасенко; КубГАУ – Краснодар, 2012. – 280 с.
86. Тарасенко, Б. Ф. Оптимизация параметров долота чизельного рабочего органа / Б. Ф. Тарасенко [и др.] - Сельский механизатор. 2019. № 3. С. 4–5

87. Тарасенко, Б. Ф. Формирование ресурсосберегающих комплексов агрегатов для обработки почвы на основе имитационного моделирования в условиях степной зоны северного Кавказа: дис. ... д-ра т.-х. наук / Б.Ф. Тарасенко. – Краснодар, 2015. – 370 с.
88. Таркинский, В. Е. Цифровые методы и средства определения функциональных характеристик сельскохозяйственных тракторов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В. Е. Таркинский. – М: «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», 2019, 33 с.
89. Трубилин, Е. И. Сельскохозяйственная техника, выпускаемая в странах СНГ/ Е. И. Трубилин, Г. Г. Маслов, М. И. Чеботарёв // Каталог. – Краснодар: КубГАУ, 2003. – 675 с.
90. Уланов, А. С. Повышение эффективности функционирования мотоблока с лемешно-отвальным плугом: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01 / А. С. Уланов – Саранск: ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный заочный университет», 2019. – 18 с.
91. Фрезы для мотоблока - типы конструкций: [Режим доступа]: <https://mobilk.ru/catalog/>
92. Харитонов, Е. М. Проблемы рисоводства в Российской Федерации и пути их решения. Качество риса / Е. М. Харитонов // Достижения науки и техники АПК. - 2010.- №11. - С. 14 – 15
93. Харитонов, Е.М. Система рисоводства Краснодарского края / Е. М. Харитонов. - Краснодар: ВНИИ риса, 2011. – 521 с.
94. Цыбулевский, В. В. Параметры процесса обработки приствольной зоны плодовых деревьев гербицидами: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. - Краснодар, 2007. - 24 с.
95. Чеботарёв, М. И. Механико-технологическое обоснование систем машин для рисоводства: дис. ... д-ра техн. наук в виде науч. докл. / М. И. Чеботарёв. – Зерноград, 1997. – 58 с.
96. Шекихачев, Ю. А. Механико-технологическое обоснование технических средств для ухода за почвой террасированных склонов в условиях гор-

ного садоводства (на примере Центральной части Северного Кавказа) / Шекихачев Юрий Ахметханович // Автореф. дисс. ... д-ра техн. наук: 05.20.01. – Краснодар, 2001. – 40 с.

97. Шомахов, Л. А. Машины по уходу за почвой в садах на горных склонах / Л.А. Шомахов, Р.А. Балкаров, Ю.А. Шекихачев // Садоводство и виноградарство. – 1999. – № 1. – С.7-8.

98. Яцук, С. С. К определению энергозатрат при фрезеровании почвы – Труды Кубанского сельскохозяйственного института. Выпуск 66 (94). Краснодар. – С. 66–78.

99. Kovatchev, St. Ricerche sulla qualita di lavoro di alcune frese a spostamento laterale / St. Kovatchev, Yono Tchipilsky // Frutticoltura. –1971, 33. – №1. – P. 27-33.

100. Niyomuvunyi, A. 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 desafios y cambios glob-ales. II Foreign International Sci-entific Conference. San Cristóbal, 2023. C. 60-63.

101. Niyomuvunyi, A. Optimization of parameters and operating modes of the unit for preparing soil for planting rice in Burundi / A. Niyomuvunyi, B. Tarasenko, V. Drobot etc.- In the collection: IX International Conference on Advanced Agritechnologies, Environ-mental Engineering and Sustainable Development. EDP Sciences - Web of Conferences, 2024. C. 06004.

ПРИЛОЖЕНИЯ



АКТ
об использовании результатов исследований
Нийомувуньи Анжелоса,
аспиранта кафедры «Тракторы, автомобили и техническая механика»
ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ

Комиссия в составе председателя главного инженера РПЗ «Красноармейский» Гаврилова В.Н., а также членов комиссии представителей ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина» профессора кафедры тракторов, автомобилей и технической механики Тарасенко Б.Ф. и аспиранта Нийомувуньи Анжелоса, составили настоящий акт о внедрении в производство рабочих органов для обработки почвы на мелкоконтурных участках. Рабочие органы выполнены в виде экспериментальной фрезы с Г-образными ножами, оснащенными клиновидными зубьями. Экспериментальная фреза имеет преимущество перед сегментной, барабанной и саблевидной фрезами. Преимущество достигается за счет повышения качества крошения почвы и снижения расхода топлива.

Экономия эксплуатационных затрат составляет 960 руб./га в сравнении с фрезой с саблевидными ножами.

Председатель комиссии:
главный инженер РПЗ «Красноармейский»

 В.Н. Гаврилов

Члены комиссии:
профессор Кубанского ГАУ

 Б.Ф. Тарасенко

аспирант Кубанского ГАУ

 А. Нийомувуньи



Первый проректор
ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ
профессор
Резниченко С. М.
апреля 2023 г.

АКТ

об использовании в учебном процессе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина» на факультете механизации результатов научно-исследовательской работы аспиранта 3-го года очной формы обучения Нийомувуньи Анжелоса

Комиссия в составе: председателя – декана факультета механизации, доцента А. А. Титученко, членов комиссии – заведующего кафедрой «Тракторы, автомобили и техническая механика» профессора В. С. Курасова и профессора кафедры «Тракторы, автомобили и техническая механика» Б. Ф. Тарасенко рассмотрела результаты научно-исследовательской работы аспиранта кафедры «Тракторы, автомобили и техническая механика» Нийомувуньи Анжелоса по обоснованию параметров фрезы для обработки почвы под посев риса и их использование в учебном процессе на факультете механизации.

Комиссия установила, что результаты научно-исследовательской работы Нийомувуньи Анжелоса используются в учебном процессе на кафедре «Тракторы, автомобили и техническая механика» при написании выпускных квалификационных работ обучающимися по направлению подготовки 35.04.06 «Агроинженерия», направленность «Технологии и средства механизации сельского хозяйства».

Председатель комиссии _____ А. А. Титученко
Члены комиссии: _____ В. С. Курасов
_____ Б. Ф. Тарасенко



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 215678

Агрегат для подготовки почвы под посадку риса в Бурунди

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина" (RU)*

Авторы: *Тарасенко Борис Фёдорович (RU), Нийомувуньи Анжелос (RU)*

Заявка № 2022126737

Приоритет полезной модели 13 октября 2022 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 21 декабря 2022 г.

Срок действия исключительного права
на полезную модель истекает 13 октября 2032 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 220745

Агрегат для подготовки почвы под посадку риса в Бурунди с гибридной силовой установкой

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный аграрный университет" (RU)*

Авторы: *Тарасенко Борис Фёдорович (RU), Богатырев Николай Иванович (RU), Нийомувуньи Анжелос (RU), Оськин Сергей Владимирович (RU), Цыбулевский Валерий Викторович (RU)*

Заявка № 2023115466

Приоритет полезной модели 13 июня 2023 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 02 октября 2023 г.

Срок действия исключительного права
на полезную модель истекает 13 июня 2033 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 221949

Испытательное устройство для измерения тягового сопротивления ротационных фрез мотоблока

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего профессионального
образования "Кубанский государственный аграрный
университет" (RU)*

Авторы: *Тарасенко Борис Фёдорович (RU), Богатырев Николай
Иванович (RU), Нийомувунь Анжелос (RU), Оськин Сергей
Владимирович (RU), Цыбулевский Валерий Викторович (RU)*

Заявка № 2023116150

Приоритет полезной модели 19 июня 2023 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 01 декабря 2023 г.

Срок действия исключительного права
на полезную модель истекает 19 июня 2033 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов

"МНК 2-х факторный (действительные значения факторов)"

ORIGIN := 1

Число проведенных опытов в примере = 9

Действительные значения переменных

Отклик

$$\begin{array}{l}
 \begin{array}{c} 7 \\ 3 \\ 7 \\ 3 \\ 5 \\ 5 \\ 7 \\ 3 \\ 5 \end{array} \\
 X1 := \begin{array}{c} 7 \\ 3 \\ 7 \\ 3 \\ 5 \\ 5 \\ 7 \\ 3 \\ 5 \end{array}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 \begin{array}{c} 90 \\ 90 \\ 80 \\ 80 \\ 90 \\ 80 \\ 85 \\ 85 \\ 85 \end{array} \\
 X2 := \begin{array}{c} 90 \\ 90 \\ 80 \\ 80 \\ 90 \\ 80 \\ 85 \\ 85 \\ 85 \end{array}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 \begin{array}{c} 44 \\ 43 \\ 57 \\ 70 \\ 25 \\ 32 \\ 67 \\ 85 \\ 50 \end{array} \\
 y1 := \begin{array}{c} 44 \\ 43 \\ 57 \\ 70 \\ 25 \\ 32 \\ 67 \\ 85 \\ 50 \end{array}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 y := \frac{y1}{3.5} \\
 y = \begin{array}{c} 12.571 \\ 12.286 \\ 16.286 \\ 20 \\ 7.143 \\ 9.143 \\ 19.143 \\ 24.286 \\ 14.286 \end{array}
 \end{array}$$

$n := \text{length}(y)$

$n = 9$

$zy := \sum y$

$zX1y := X1 \cdot y$

$zX2y := X2 \cdot y$

$zy = 135.143$

$zX1y = 658.571$

$zX2y = 1.142 \cdot 10^4$

$v_6 := zy$

$v_5 := zX1y$

$v_4 := zX2y$

$zX1X2y :=$

$$\begin{array}{l}
 s \leftarrow 0 \\
 j \leftarrow 1 \\
 \text{while } n \geq j \\
 \quad \begin{array}{l} s \leftarrow s + X1_j \cdot X2_j \cdot y_j \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \\
 s
 \end{array}$$

$zX1X2y = 5.568 \cdot 10^4$

$v_3 := zX1X2y$

$$zX2X2y := \left| \begin{array}{l} s \leftarrow 0 \\ j \leftarrow 1 \\ \text{while } n \geq j \\ \quad \left| \begin{array}{l} s \leftarrow s + X2_j \cdot X2_j \cdot y_j \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ s \end{array} \right|$$

$$zX2X2y = 9.669 \cdot 10^5$$

$$v_1 := zX2X2y$$

$$zX1X1y := \left| \begin{array}{l} s \leftarrow 0 \\ j \leftarrow 1 \\ \text{while } n \geq j \\ \quad \left| \begin{array}{l} s \leftarrow s + X1_j \cdot X1_j \cdot y_j \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ s \end{array} \right|$$

$$zX1X1y = 3.625 \cdot 10^3$$

$$v_2 := zX1X1y$$

$$zX1 := \sum X1$$

$$zX2 := \sum X2$$

$$zX1 = 45$$

$$zX2 = 765$$

$$zX1X2 := \left| \begin{array}{l} s \leftarrow 0 \\ j \leftarrow 1 \\ \text{while } n \geq j \\ \quad \left| \begin{array}{l} s \leftarrow s + X1_j \cdot X2_j \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ s \end{array} \right|$$

$$zX1X2 = 3.825 \cdot 10^3$$

$$M_{6,3} := zX1X2$$

$$zX1X1 := \left| \begin{array}{l} s \leftarrow 0 \\ j \leftarrow 1 \\ \text{while } n \geq j \\ \quad \left| \begin{array}{l} s \leftarrow s + X1_j \cdot X1_j \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ s \end{array} \right|$$

$$zX1X1 = 249$$

$$M_{6,2} := zX1X1$$

$$zX2X2 := \left| \begin{array}{l} s \leftarrow 0 \\ j \leftarrow 1 \\ \text{while } n \geq j \\ \quad \left| \begin{array}{l} s \leftarrow s + X2_j \cdot X2_j \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ s \end{array} \right|$$

$$zX2X2 = 6.518 \cdot 10^4$$

$$M_{6,1} := zX2X2$$

$$zX1X1X2 := \left| \begin{array}{l} s \leftarrow 0 \\ j \leftarrow 1 \\ \text{while } n \geq j \\ \quad \left| \begin{array}{l} s \leftarrow s + X1_j \cdot X1_j \cdot X2_j \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ s \end{array} \right|$$

$$zX1X1X2 = 2.117 \cdot 10^4$$

$$M_{5,3} := zX1X1X2$$

$$zX1X1X1 := \left| \begin{array}{l} s \leftarrow 0 \\ j \leftarrow 1 \\ \text{while } n \geq j \\ \quad \left| \begin{array}{l} s \leftarrow s + X1_j \cdot X1_j \cdot X1_j \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ s \end{array} \right|$$

$$zX1X1X1 = 1.485 \cdot 10^3$$

$$M_{5,2} := zX1X1X1$$

$$zX2X2X2 := \left| \begin{array}{l} s \leftarrow 0 \\ j \leftarrow 1 \\ \text{while } n \geq j \\ \quad \left| \begin{array}{l} s \leftarrow s + X2_j \cdot X2_j \cdot X2_j \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ s \end{array} \right|$$

$$zX2X2X2 = 5.565 \cdot 10^6$$

$$M_{4,1} := zX2X2X2$$

$$zX2X2X1 := \begin{array}{|l} s \leftarrow 0 \\ j \leftarrow 1 \\ \text{while } n \geq j \\ \quad \left| \begin{array}{l} s \leftarrow s + X2_j \cdot X2_j \cdot X1_j \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ s \end{array}$$

$$zX2X2X1 = 3.259 \cdot 10^5 \quad M_{5,1} := zX2X2X1$$

$$zX2X2X1X1 := \begin{array}{|l} s \leftarrow 0 \\ j \leftarrow 1 \\ \text{while } n \geq j \\ \quad \left| \begin{array}{l} s \leftarrow s + X2_j \cdot X2_j \cdot X1_j \cdot X1_j \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ s \end{array}$$

$$zX2X2X1X1 = 1.803 \cdot 10^6 \quad M_{2,1} := zX2X2X1X1$$

$$zX2X2X2X2 := \begin{array}{|l} s \leftarrow 0 \\ j \leftarrow 1 \\ \text{while } n \geq j \\ \quad \left| \begin{array}{l} s \leftarrow s + X2_j \cdot X2_j \cdot X2_j \cdot X2_j \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ s \end{array}$$

$$zX2X2X2X2 = 4.763 \cdot 10^8 \quad M_{1,1} := zX2X2X2X2$$

$$zX1X1X1X1 := \begin{array}{|l} s \leftarrow 0 \\ j \leftarrow 1 \\ \text{while } n \geq j \\ \quad \left| \begin{array}{l} s \leftarrow s + X1_j \cdot X1_j \cdot X1_j \cdot X1_j \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ s \end{array}$$

$$zX1X1X1X1 = 9321 \quad M_{2,2} := zX1X1X1X1$$

$$zX1X1X1X2 := \begin{array}{|l} s \leftarrow 0 \\ j \leftarrow 1 \\ \text{while } n \geq j \\ \quad \left| \begin{array}{l} s \leftarrow s + X1_j \cdot X2_j \cdot X1_j \cdot X1_j \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ s \end{array}$$

$$zX1X1X1X2 = 126225 \quad M_{3,2} := zX1X1X1X2$$

$$zX1X2X2X2 := \begin{array}{|l} s \leftarrow 0 \\ j \leftarrow 1 \\ \text{while } n \geq j \\ \quad \left| \begin{array}{l} s \leftarrow s + X2_j \cdot X2_j \cdot X2_j \cdot X1_j \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ s \end{array}$$

$$zX1X2X2X2 = 27826875 \quad M_{3,1} := zX1X2X2X2$$

$$M_{6,6} := n$$

$$M_{6,5} := zX1$$

$$M_{6,4} := zX2$$

$$M_{5,5} := M_{6,2}$$

$$M_{5,6} := M_{6,5}$$

$$M_{4,6} := M_{6,4}$$

$$M_{4,5} := M_{6,3}$$

$$M_{3,6} := M_{6,3}$$

$$M_{5,4} := M_{6,3}$$

$$M_{2,6} := M_{6,2}$$

$$M_{4,4} := M_{6,1}$$

$$M_{1,6} := M_{6,1}$$

$$M_{4,2} := M_{5,3}$$

$$M_{2,4} := M_{5,3}$$

$$M_{3,5} := M_{5,3}$$

$$M_{2,5} := M_{5,2}$$

$$M_{1,4} := M_{4,1}$$

$$M_{4,3} := M_{5,1}$$

$$M_{3,4} := M_{5,1}$$

$$M_{1,5} := M_{5,1}$$

$$M_{2,3} := M_{3,2}$$

$$M_{3,3} := M_{2,1}$$

$$M_{1,2} := M_{2,1}$$

$$M_{1,3} := M_{3,1}$$

$$v = \begin{bmatrix} 966928.571428571 \\ 3625.42857142857 \\ 55682.8571428571 \\ 11420 \\ 658.57142857143 \\ 135.14285714286 \end{bmatrix} \quad M = \begin{bmatrix} 476311875 & 1803175 & 27826875 & 5565375 & 325875 & 65175 \\ 1803175 & 9321 & 126225 & 21165 & 1485 & 249 \\ 27826875 & 126225 & 1803175 & 325875 & 21165 & 3825 \\ 5565375 & 21165 & 325875 & 65175 & 3825 & 765 \\ 325875 & 1485 & 21165 & 3825 & 249 & 45 \\ 65175 & 249 & 3825 & 765 & 45 & 9 \end{bmatrix}$$

$$x := M^{-1} \cdot v \quad x = \begin{bmatrix} -0.2533333333 \\ 1.8095238095 \\ 0.1 \\ 42.1190476195 \\ -27.3095238095 \\ -1686.5634920824 \end{bmatrix}$$

$$D0 := x_6 \quad D1 := x_5 \quad D2 := x_4 \quad D12 := x_3 \quad D11 := x_2 \quad D22 := x_1$$

Действительные коэффициенты уравнения вида:
 $y = D0 + D1 \cdot X1 + D2 \cdot X2 + D12 \cdot X1 \cdot X2 + D11 \cdot X1^2 + D22 \cdot X2^2$

$$D0 = -1.687 \cdot 10^3 \quad D1 = -27.31 \quad D2 = 42.119 \quad D12 = 0.1$$

$$D11 = 1.81 \quad D22 = -0.253$$

$$j := 1 \dots n$$

$$yp1_j := D0 + D1 \cdot X1_j + D2 \cdot X2_j$$

$$yp2_j := D12 \cdot X1_j \cdot X2_j$$

$$yp3_j := D11 \cdot X1_j^2 + D22 \cdot X2_j^2$$

$$yp := yp1 + yp2 + yp3$$

$$dy := y - yp$$

$$X1 = \begin{bmatrix} 7 \\ 3 \\ 7 \\ 3 \\ 5 \\ 5 \\ 7 \\ 3 \\ 5 \end{bmatrix} \quad X2 = \begin{bmatrix} 90 \\ 90 \\ 80 \\ 80 \\ 90 \\ 80 \\ 85 \\ 85 \\ 85 \end{bmatrix} \quad y = \begin{bmatrix} 12.571 \\ 12.286 \\ 16.286 \\ 20 \\ 7.143 \\ 9.143 \\ 19.143 \\ 24.286 \\ 14.286 \end{bmatrix} \quad yp = \begin{bmatrix} 12.651 \\ 13.508 \\ 15.127 \\ 19.984 \\ 5.841 \\ 10.317 \\ 20.222 \\ 23.079 \\ 14.413 \end{bmatrix} \quad dy = \begin{bmatrix} -0.079 \\ -1.222 \\ 1.159 \\ 0.016 \\ 1.302 \\ -1.175 \\ -1.079 \\ 1.206 \\ -0.127 \end{bmatrix}$$

Листинг программы "Действительные в нормализованные 2"

Действительные коэффициенты уравнения

D0 := -1687 D1 := -27.31 D2 := 42.119

D12 := 0.1

D11 := 1.81 D22 := -0.253

Центр плана и размах варьирования факторов

X10 := 5 d1 := 2 X20 := 85 d2 := 5

$X1 = x1 \cdot d1 + X10$ $X2 = x2 \cdot d2 + X20$

b22 := D22·d2·d2 b11 := D11·d1·d1 b12 := D12·d1·d2

b2 := D2·d2 + 2·X20·D22·d2 + X10·D12·d2

b1 := D1·d1 + 2·X10·D11·d1 + X20·D12·d1

b44 := D0 + D1·X10 + D2·X20 + D12·X10·X20

b0 := b44 + D11·X10·X10 + D22·X20·X20

Нормализованные коэффициенты уравнения

b0 := 14.01 b1 = -1.42 b2 = -1.955

b12 := 0.99

b11 = 7.24 b22 = -6.325

Листинг программы

Переход МНК-2 (действительные) - план Вк 2-х факторный

Дополнительно 5 опытов плана - n0

Всего опытов

n0 := 5

f1 := n0 - 1

f1 = 4

k0 := 8

$$y := \begin{bmatrix} 15.2 \\ 10.4 \\ 14.1 \\ 12.9 \\ 16.8 \end{bmatrix}$$

Среднее значение и дисперсия плана

```
ys :=
  s ← 0
  j ← 0
  while n0 - 1 ≥ j
    s ← s +  $\frac{y_j}{n0}$ 
    j ← j + 1
  s
```

ys = 13.88

```
s2y :=
  s ← 0
  j ← 0
  while n0 - 1 ≥ j
    s ← s +  $(y_j - ys)^2$ 
    j ← j + 1
  s
```

s2y = 23.388

sy := $\sqrt{s2y}$

sy = 4.836

При a=0,05 и f1=4

t := 2.78

Нормализованные коэффициенты уравнения

b0 := 14.01

b1 := -1.42

b2 := -1.955

b12 := 0.99

b11 := 7.24

b22 := -6.325

Вспомогательные константы

c7 := 0.63738

c8 := 0.07062

c9 := 0.010353

c10 := 0.163742

Расчет доверительных интервалов

sb0 := c7·sy

sb0 = 3.082

sbi := c8·sy

sbi = 0.342

sbij := c9·sy

sbij = 0.05

sbii := c10·sy

sbii = 0.792

$$\begin{array}{llll} db0 := sb0 \cdot t & dbi := sbi \cdot t & dbij := sbij \cdot t & dbii := sbii \cdot t \\ db0 = 8.569 & dbi = 0.949 & dbij = 0.139 & dbii = 2.201 \end{array}$$

Проверка значимости коэффициентов

$$b0 := \begin{cases} 0 & \text{if } |b0| < db0 \\ b0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad b1 := \begin{cases} 0 & \text{if } |b1| < dbi \\ b1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad b2 := \begin{cases} 0 & \text{if } |b2| < dbii \\ b2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$b12 := \begin{cases} 0 & \text{if } |b12| < dbij \\ b12 & \text{otherwise} \end{cases} \quad b11 := \begin{cases} 0 & \text{if } |b11| < dbii \\ b11 & \text{otherwise} \end{cases} \quad b22 := \begin{cases} 0 & \text{if } |b22| < dbii \\ b22 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Коэффициенты после проверки на значимость

$$b0 = 14.01 \quad b1 = -1.42 \quad b2 = -1.955$$

$$b12 = 0.99$$

$$b11 = 7.24 \quad b22 = -6.325$$

Определение числа степеней свободы

$$k1 := 0 \quad k1 := \begin{cases} k1 + 1 & \text{if } b0=0 \\ k1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad k1 := \begin{cases} k1 + 1 & \text{if } b1=0 \\ k1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad k1 := \begin{cases} k1 + 1 & \text{if } b2=0 \\ k1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$k1 := \begin{cases} k1 + 1 & \text{if } b12=0 \\ k1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad k1 := \begin{cases} k1 + 1 & \text{if } b11=0 \\ k1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad k1 := \begin{cases} k1 + 1 & \text{if } b22=0 \\ k1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$k1 = 0 \quad f2 := k0 - k1 \quad f2 = 8$$

$$ft := \begin{cases} 6.00 & \text{if } f2=9 \\ 5.96 & \text{if } f2=10 \\ 5.93 & \text{if } f2=11 \\ 5.91 & \text{if } f2=12 \\ 5.89 & \text{if } f2=13 \\ 5.87 & \text{if } f2=14 \\ 6.04 & \text{if } f2=8 \\ 6.09 & \text{if } f2=7 \\ 6.26 & \text{if } f2=6 \end{cases}$$

$$ft = 6.04$$

При значимости $\alpha=0,05$

$$zp := 1$$

Матрица плана

Отклик

$$\begin{array}{l}
 x1 := \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad x2 := \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ -1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ -1 \end{bmatrix} \quad y1 := \begin{bmatrix} 44 \\ 43 \\ 57 \\ 70 \\ 25 \\ 32 \\ 67 \\ 85 \end{bmatrix} \quad y := \frac{y1}{3.5} \quad y = \begin{bmatrix} 12.571 \\ 12.286 \\ 16.286 \\ 20 \\ 7.143 \\ 9.143 \\ 19.143 \\ 24.286 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

$$z := 0 \quad c := 0 \quad v := 0 \quad a := 0$$

$$\begin{array}{l}
 ssn := \begin{array}{|l} s \leftarrow 0 \\ j \leftarrow 0 \\ \text{while } k0 - 1 \geq j \\ \quad \begin{array}{|l} z \leftarrow z + b0 + b1 \cdot x1_j + b2 \cdot x2_j \\ c \leftarrow c + b12 \cdot x1_j \cdot x2_j \\ v \leftarrow v + b11 \cdot x1_j \cdot x1_j + b22 \cdot x2_j \cdot x2_j \\ a \leftarrow a + z + c + v \\ s \leftarrow s + (y_j - a)^2 \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \\ s \end{array}
 \end{array}$$

$$ssn = 743.392 \quad s2n := \frac{ssn}{f2} \quad fr := \frac{s2n}{s2y} \quad f2 = 8 \quad fl = 4$$

Проверка на адекватность $fr < ft$

$$s2n = 92.924 \quad s2y = 23.388 \quad fr = 3.973 \quad ft = 6.04$$

Коэффициенты уравнения регрессии в нормализованном виде

$$b0 = 14.01 \quad b1 = -1.42 \quad b2 = -1.955$$

$$b12 = 0.99$$

$$b11 = 7.24 \quad b22 = -6.325$$

"Каноническое преобразование Вк-2"

$$b0 := 14.01$$

$$b1 := -1.42$$

$$b2 := -1.955$$

$$b12 := 0.99$$

$$b11 := 7.24$$

$$b22 := -6.325$$

$$2 \cdot b11 \cdot x1 + b12 \cdot x2 = -b1$$

$$b12 \cdot x1 + 2 \cdot b22 \cdot x2 = -b2$$

$$M := \begin{bmatrix} 2 \cdot b11 & b12 \\ b12 & 2 \cdot b22 \end{bmatrix} \quad v := \begin{bmatrix} -b1 \\ -b2 \end{bmatrix} \quad x := M^{-1} \cdot v \quad x = \begin{bmatrix} 0.10805 \\ -0.14609 \end{bmatrix}$$

$$x1 := x_0 \quad x2 := x_1$$

$$X1 := x1 \cdot 2 + 5$$

$$X1 = 5.21611$$

$$X2 := x2 \cdot 5 + 85$$

$$X2 = 84.26955$$

$$f1(x1, x2) := b0 + b1 \cdot x1 + b2 \cdot x2 + b12 \cdot x1 \cdot x2$$

$$f(x1, x2) := f1(x1, x2) + b11 \cdot x1^2 + b22 \cdot x2^2$$

$$Ys := f(x1, x2)$$

$$b := \begin{cases} \frac{b12}{b11 - b22} & \text{if } b12 \neq 0 \\ \frac{b11 - b22}{b12} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \alpha := \begin{cases} \frac{\text{atan}(b)}{2} & \text{if } b12 \neq 0 \\ \frac{45 \cdot \pi}{180} & \text{if } b11 = b22 \\ \frac{\text{atan}\left(\frac{1}{b}\right)}{2} & \text{if } b \neq 0 \end{cases}$$

$$E := \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A := \begin{bmatrix} b11 & \frac{b12}{2} \\ \frac{b12}{2} & b22 \end{bmatrix} \quad \alpha := \alpha \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$B^2 - B \cdot (b11 + b22) + \left[b11 \cdot b22 - \left(\frac{b12}{2} \right)^2 \right] = 0$$

$$C := \text{eigenvals}(A)$$

$$C = \begin{bmatrix} 7.25804 \\ -6.34304 \end{bmatrix}$$

$$B11 := C_0$$

$$B22 := C_1$$

$$kk := 20$$

$$X1 := 0..kk$$

$$X2 := 0..kk$$

$$X11(X1) := -1 + 0.1 \cdot X1$$

$$X22(X2) := -1 + 0.1 \cdot X2$$

$$z(X11, X22) := Ys + B11 \cdot X11(X1) \cdot X11(X1) + B22 \cdot X22(X2) \cdot X22(X2)$$

$$K_{x1, x2} := z(X11, X22)$$

$$Ys = 14.07608$$

$$B11 = 7.25804$$

$$B22 = -6.34304$$

$$\alpha = 2.08708$$

$$x1 = 0.10805$$

$$x2 = -0.14609$$

$$J1 := b11 + b22$$

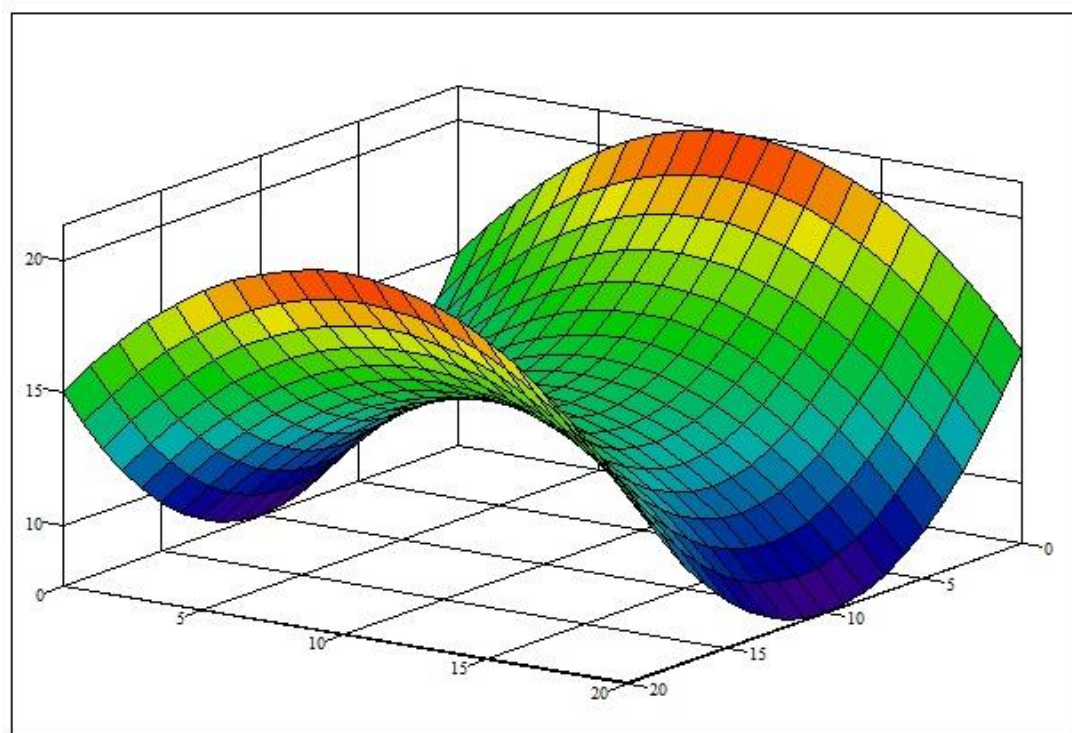
$$J2 := B11 + B22$$

$$J1 = 0.915$$

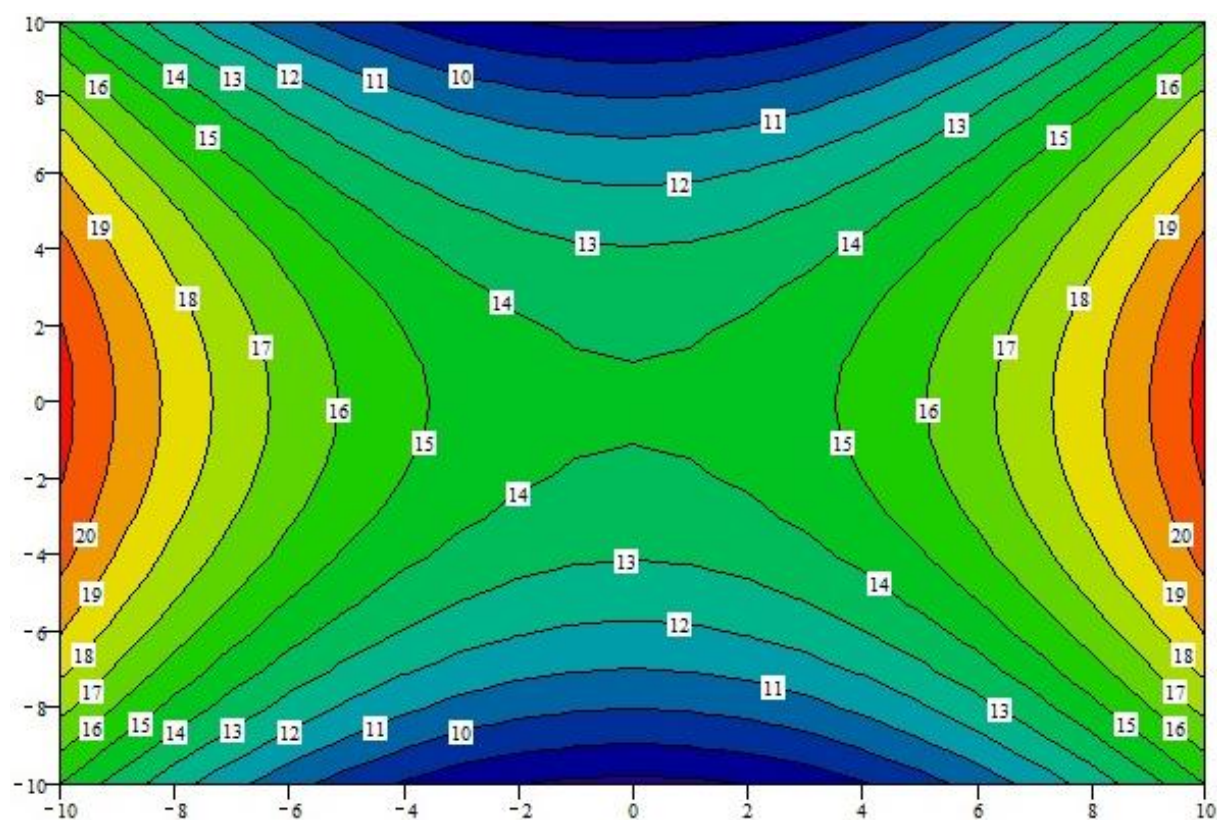
$$J2 = 0.915$$

Уравнение регрессии в канонической форме

$$Y - Y_s = B_1 \cdot X_1^2 + B_2 \cdot X_2^2$$



K



K