

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет
имени В.М. Кокова»



На правах рукописи

Егожев Аскер Артурович

**ПАРАМЕТРЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ ДВУХРОТОРНОЙ
САДОВОЙ ФРЕЗЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПРИСТВОЛЬНЫХ ПОЛОС
ПЛОДОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА ТЕРРАСИРОВАННЫХ СКЛОНАХ**

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

Диссертация
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
доцент А. К. Апажев

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕХАНИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ ПРИСТВОЛЬНЫХ ПОЛОС ПЛОДОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА ТЕРРА- СИРОВАННЫХ СКЛОНАХ ЮГА РОССИИ.....	10
1.1. Анализ состояния и перспективы развития садоводства на терра- сированных склонах на примере Кабардино-Балкарской Республики	10
1.2. Анализ конструктивных особенностей машин, применяемых для механической обработки приствольных полос плодовых насаждений...	15
1.3. Обзор научных исследований процесса фрезерования пристволь- ных полос в промышленных садах.....	30
1.4. Выводы по главе, цель и задачи исследования.....	37
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА РАБОТЫ ДВУХ- РОТОРНОЙ САДОВОЙ ФРЕЗЫ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПРИСТВОЛЬНЫХ ПОЛОС ПЛОДОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ	39
2.1. Обоснование конструктивно-технологической схемы двухротор- ной садовой фрезы.....	39
2.2. Исследование кинематических параметров фрезерного рабочего органа при обходе штамба дерева.....	48
2.3. Обоснование режима вращения ротора и расчет эксплуатационной мощности фрезы.....	54
2.4. Исследование сил взаимодействия фрезерных секции со штамбом дерева при его обходе	62
2.5. Исследование динамики конструкции фрезы в процессе обхода штамба дерева.....	70
2.6. Обоснование метода и расчет динамической устойчивости ротора фрезы.....	80
2.7. Выводы по главе.....	86

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ.....	88
3.1. Программа экспериментальных исследований.....	88
3.2. Методика исследования технологических параметров двухроторной фрезерной секции в полевых условиях.....	89
3.3. Методика обработки результатов экспериментальных исследований по оптимизации конструктивно-технологических параметров двухроторной фрезы.....	97
3.4. Оптимизация основных конструктивно-технологических параметров работы двухроторной садовой фрезы.....	102
3.5. Результаты производственных испытаний двухроторной садовой фрезы.....	110
3.6. Выводы по главе.....	113
4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДВУХРОТОРНОЙ САДОВОЙ ФРЕЗЫ.....	115
4.1. Экономическая эффективность результатов исследований.....	115
4.2. Выводы по главе.....	118
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	119
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	121
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	138

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. В Российской Федерации наиболее динамично развивающейся подотраслью сельского хозяйства является садоводство. За истекшие десятилетия в нашей стране отмечается существенный ежегодный ввод новых площадей под плодовые насаждения.

В условиях южных регионов России, имеющих благоприятный микроклимат для производства плодов, перспективным направлением является освоение и ввод в оборот склоновых земель под плодовые культуры.

Одной из ключевых задач для садоводческих хозяйств остается борьба с сорняками в приствольных зонах плодовых культур. Для этого используются разные методы, среди которых наиболее популярен механический - с применением садовых фрез. Производители сельхозтехники предлагают садоводческим предприятиям широкий ассортимент садовых фрез как российского, так и импортного производства, отличающихся конструктивными и технологическими особенностями. Опыт использования садовых фрез в равнинном садоводстве показал, что при встрече со штамбом дерева выдвижная секция отводится и часть площади остается необработанной. Чтобы покрыть всю площадь, нужно выполнить два прохода вдоль линии ряда, что невозможно обеспечить в условиях террасного садоводства, где подход к линии ряда имеется только с одной стороны: со стороны полотна террасы, а другая же сторона ограничивается откосом террасы.

В связи с этим разработка новой конструктивно-технологической схемы двухроторной садовой фрезы, позволяющая эффективно обрабатывать приствольные полосы плодовых насаждений в террасном садоводстве за один проход вдоль линии ряда, является актуальной.

Исследования по данной теме проводились в период с 2020 г. по настоящее время по тематике НИР ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ и по заказу МСХ РФ по теме «Разработка высокопродуктивных экологически чистых технологий и технических средств по уходу за плодовыми насаждениями в интенсивном гор-

ном садоводстве Кабардино-Балкарской республики» (номер государственной регистрации АААА-А19-119071290029-9).

Рабочая гипотеза: полное фрезерование площади вокруг штамба плодового дерева в условиях террасного садоводства может быть достигнуто путем определения оптимальных параметров и режимов работы двухроторной садовой фрезы за один проход при движении вдоль линии ряда.

Степень разработанности темы исследований. Для механической обработки приствольных полос плодовых насаждений есть целый ряд садовых фрез, обладающих конструктивно-технологическими отличиями. Общими недостатками для них являются двухкратный проход вдоль линии ряда плодовых насаждений, что приводит к снижению производительности и большому расходу топливосмазочных материалов.

Значительный вклад в разработку и исследование почвообработывающих фрез внесли А. И. Завражнов, Ю. А. Утков, Л. А. Шомахов, Н. В. Алдошин, П. А. Догода, К. А. Манаенков, А. А. Цымбал, В. В. Бычков, И. Г. Смирнов, В. А. Дробот, А. С. Пронь, В. Г. Бросалин, Б. Ф. Тарасенко, Е. И. Трубилин, С. И. Камбулов, Ю. А. Шекихачев, Л. М. Хажметов, Е. А. Полищук и многие другие.

Большой вклад в исследования по механизации террасного садоводства внесли ученые Северо-Кавказского научно-исследовательского института горного и предгорного садоводства.

Перспективными разработками ротационных почвообработывающих машин занимаются ведущие ученые Волгоградского ГАУ.

Настоящее исследование расширяет результаты предыдущих работ, обосновывая параметры и режимы функционирования двухроторной садовой фрезы, которые позволяют достичь высококачественной обработки приствольных полос в плодовых насаждениях на террасированных склонах за один проход агрегата вдоль рядов.

Цель исследования – обоснование параметров и режимов работы двухроторной садовой фрезы, обеспечивающие полную обработку приствольной полосы

плодовых насаждений за один проход при движении вдоль линии ряда в условиях террасного садоводства.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи исследований**:

1. Разработать конструктивно-технологическую схему вертикальной двухроторной садовой фрезы, обеспечивающую качественную обработку приствольной полосы плодовых насаждений за один проход при движении вдоль линии ряда в условиях террасного садоводства.

2. Получить аналитические зависимости для обоснования рациональных конструктивных параметров и пределы их изменения при полном обходе двухроторной садовой фрезой вокруг штамба дерева.

3. Обосновать метод расчета динамической устойчивости ротора садовой фрезы.

4. Экспериментальным путем определить оптимальные параметры и режимы работы двухроторной садовой фрезы по критерию полноты фрезерования площади вокруг штамба плодового дерева.

5. Сопоставить результаты теоретических и экспериментальных исследований.

6. Определить экономическую эффективность применения двухроторной садовой фрезы.

Объект исследования – технологический процесс обработки приствольных полос плодовых насаждений на террасированных склонах и технические средства для его осуществления.

Предмет исследования – закономерности, связывающие параметры и режимы работы двухроторной садовой фрезы с полнотой фрезерования площади вокруг штамба плодового дерева за один проход при движении вдоль линии ряда в условиях террасного садоводства.

Методы исследования. Теоретические исследования проводились с использованием законов математического анализа и теоретической механики. При

проведении экспериментальных исследований применялись методы планирования многофакторного эксперимента. Обработка полученных данных осуществлена с использованием методов математической статистики и прикладных программ (Microsoft Excel, MathCad).

Научную новизну работы составляют:

- аналитические зависимости, позволяющие определить основные конструктивные и режимные параметры двухроторной садовой фрезы: диаметры роторов и предохранительных колес, угла установки поворотной балки фрезы; траекторию движения, кинематический режим работы, окружную скорость и частоту вращения фрезы, жесткость пружины, скорость движения, затраты мощности на привод фрезерного рабочего органа, а также пределы изменения этих параметров, оказывающие наибольшее влияние на качество работы;
- метод расчета динамической устойчивости ротора садовой фрезы;
- уравнение регрессии, описывающее зависимость полноты фрезерования приствольной полосы от параметров и режима работы двухроторной вертикальной садовой фрезы.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическая значимость представляют: аналитические зависимости, описывающие процесс работы двухроторной вертикальной садовой фрезы, позволяющие обосновать её основные конструктивные параметры и режимы работы; метод расчета динамической устойчивости ротора, позволяющий рассчитать критические скорости вращения ротора; уравнение регрессии, описывающее процесс фрезерования приствольной полосы, позволяющее определить оптимальные параметры и режим работы двухроторной садовой фрезы;

Практическую значимость представляют: конструктивно-технологическая схема вертикальной двухроторной садовой фрезы, позволяющая разработать техническое решение садовой фрезы, обеспечивающей полную обработку приствольной полосы за один проход при движении вдоль линии ряда в условиях террасного садоводства; соотношение между параметрами и режимами работы двух-

роторной садовой фрезы с полнотой фрезерования площади вокруг штамба плодового дерева.

Техническая новизна предлагаемых конструктивных решений защищена 4 патентами на полезные модели (№206892, №214799, №184892, №222230).

Реализация результатов исследований. Опытный образец двухроторной садовой фрезы прошел производственные испытания в ООО «Племенной совхоз «Кенже» (г. Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика). Результаты исследований приняты к использованию в ФГБНУ «Северо-Кавказский НИИ горного и предгорного садоводства». Результаты исследований используются в учебном процессе ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский 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; идея базируется на обобщении передового опыта ученых Северо-Кавказского НИИ горного и предгорного садоводства и Кабардино-Балкарского ГАУ; использованы результаты опубликованных исследований по теме диссертации Ф. М. Канарева, С. И. Кабулова, И. Б. Борисенко, Г. Г. Пархоменко; 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 диссертационной работы доложены и одобрены на: Международной научной конференции «Национальные приоритеты и безопасность» (г. Нальчик, 2020 г.); Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы аграрной науки: прикладные и исследовательские аспекты» (г. Нальчик, 2021 г.); Международной научно-практической конференции «Энергетическая, экологическая и продовольственная безопасность: актуальные вопросы, достижения и инновации» (г. Нальчик, 2022 г.); Международной науч-

но-практической конференции «Разработка и применение наукоёмких технологий в строительстве, природообустройстве и механизации сельскохозяйственного производства» (г. Нальчик, 2022 г.); III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Актуальные проблемы аграрной науки: прикладные и исследовательские аспекты» (г. Нальчик, 2023 г.); Международной научно-практической конференции «Развитие современной аграрной науки: актуальные вопросы, достижения и инновации» (г. Нальчик, 2024 г.).

Разработанная двухроторная садовая фреза отмечена дипломом и золотой медалью на XXIV Всероссийской агропромышленной выставке «Золотая осень 2022» (г. Москва, 2022 г.) (Приложение IV-VII).

На защиту выносятся:

- конструктивно-технологическая схема и опытный образец двухроторной садовой фрезы для полной обработки приствольной полосы плодовых насаждений в условиях террасного садоводства;
- аналитические зависимости, описывающие процесс работы двухроторной вертикальной садовой фрезы;
 - метод расчета динамической устойчивости ротора садовой фрезы;
- результаты экспериментальных исследований по определению оптимальных параметров и режимов работы двухроторной садовой фрезы;
- оценка сходимости результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Публикации. По теме исследований опубликовано 19 печатных работ, в т.ч. 7 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 монография, 4 патента на полезные модели. Общий объем опубликованных работ составляет 9,3 п. л., из них личный вклад автора 6,2 п.л.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, четырех глав, общих выводов, рекомендаций, списка литературы и приложений. Общий объем работы составляет 156 страниц машинописного текста, в т.ч. 7 таблиц, 62 рисунка, 16 приложений. Список литературы содержит 147 наименований.

1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕХАНИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ ПРИСТВОЛЬНЫХ ПОЛОС ПЛОДОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА ТЕРРАСИРОВАННЫХ СКЛОНАХ ЮГА РОССИИ

1.1. Анализ состояния и перспективы развития садоводства на террасированных склонах на примере Кабардино-Балкарской Республики

Промышленное садоводство занимает ключевую позицию в аграрном секторе Кабардино-Балкарской Республики (КБР). Регион обладает благоприятными почвенно-климатическими условиями для выращивания сельскохозяйственных культур, а также располагает достаточными трудовыми ресурсами, знанием и опытом, необходимыми для производства экологически чистой и конкурентоспособной сельхозпродукции.

Кабардино-Балкария уже несколько лет подряд входит в топ-5 регионов России по темпам закладки многолетних насаждений. В 2021 году в республике было заложено более 1,5 тыс. га многолетних плодово-ягодных насаждений, что на 120 га больше, чем в 2020 г. [29,76]. Следует отметить, что все новые посадки интенсивного и суперинтенсивного типа. На середину 2023 года по республике площади многолетних насаждений плодово-ягодных культур составили 26,7 тыс. гектаров (рис. 1.1).

По данным МСХ КБР в 2023 году было собрано более 700 тыс. тонн плодов различных сортов, что составляет 116,6 % к показателем 2022 года [96].

В 2025 году продолжается тенденция к расширению площадей, отводимых под многолетние насаждения. Используются исключительно высокопродуктивные, иммунные и устойчивые сорта плодовых культур, что способствует значительному сокращению применения пестицидов и повышению экологической безопасности производимой продукции.

Объем дефицита плодовой продукции в РФ достигает порядка 2 млн. тонн ежегодно. Кабардино-Балкария занимает существенную долю данного рынка. В отличие от многих других отраслей АПК, садоводство в КБР стало драйвером экономического развития и одним из ключевых брендов региона.



Рисунок 1.1 – Сад в предгорной зоне юга России

С введением продовольственного эмбарго европейскими странами в 2014 году открылись новые возможности для увеличения производства и завоевания доли российского рынка, которая на протяжении десятилетий была занята зарубежной продукцией. С 2020 года плодоовощная продукция включена в перечень стратегически значимых товаров согласно «Доктрине продовольственной безопасности РФ», устанавливающей минимальный порог самообеспечения на уровне 60% [76,79]. Данный фактор, в сочетании с устойчивой государственной поддержкой и ограничениями на импорт, определяет долгосрочные перспективы развития отрасли в структуре агропромышленного комплекса.

Большая часть территории Кабардино-Балкарской Республики (около 71% от общей площади) расположена в северной и центральной частях Большого Кав-

каза и прилегающих равнинах, где преобладают холмы и горные массивы [131]. В горных и предгорных районах республики, как и в соседних регионах, значительная часть площадей на склонах, не обрабатывается.

На Северном Кавказе пригодными, но неиспользуемыми для садоводства площади составляют до 450 тыс. га, вовлечение которых в хозяйственный оборот может значительно увеличить объем производства сельскохозяйственной продукции [61,62,63].

КБР занимает лидирующее место в Российской Федерации по развитию и освоению склоновых земель под садоводство [32].

Поддержка садоводов Кабардино-Балкарской Республики, работающих в условиях горной и предгорной зон, осуществляется за счет регионального и федерального бюджетов. За десятилетие на горных склонах были заложены промышленные сады на значительных площадях. В планах - дальнейшая поддержка сельхозтоваропроизводителей для закладки садов на площади более 6 тыс. га [97].

Анализ состояния садоводства в КБР свидетельствует, что данная отрасль является одной из наиболее динамично развивающейся в аграрном секторе. Наблюдается интенсивное увеличение площадей под плодовыми насаждениями, а также высокие показатели урожайности, что указывает на возрастающее внимание государства к этому направлению. В связи с этим актуальной становится разработка машин и оборудования для механизации основных работ в садах, расположенных на склоновых землях предгорной и горной зон.

Исследования в области садоводства на склоновых землях проводились учеными, такими как П.Г.Лучков, Н.С.Львин, М.М.Мирзоев и Е.Г.Раузин [61,64, 75,104].

В работах Ж.Х. Баккуева, Р.А. Балкарова, П.Г. Лучкова и Л.А. Шомахова также представлены виды террас и схемы посадки плодовых деревьев [16-19, 20,21, 62-64, 122, 129-132]

Насыпная часть террасы является площадкой для посадки деревьев (рисунок 1.2). Поэтому основной парк машин и орудий, используемых для равнинного

садоводства не подходит для полной обработки приствольных полос, из-за отсутствия возможности подхода техники с обеих сторон вдоль линии ряда.



Рисунок 1.2 – Общий вид размещения плодовых деревьев на насыпной части полотна террасы

Теоретическим и экспериментальным исследованиям по террасированию склоновых земель в условиях КБР были посвящены работы П. Г. Лучкова, В. В. Рубцова, Б. Д. Унажокова, Л. А. Шомахова и др. [61,62,63,107,133,134].

Механическая обработка приствольных полос и междурядий является наиболее эффективной в плане аэрации и повышение урожайности [62,95, 107,113,116,124, 130, 134,135,136].

При применении механической обработки также повышается содержание органических веществ, что способствует увеличению содержания гумуса. В плодоносящих садах на склонах также рекомендуется, где это возможно, проводить механическую обработку почвы, в том числе и приштамбовой зоны.

Из-за невозможности использования техники для фрезерования приствольной зоны приходится ограничиваться ручным скашиванием травяной раститель-

ности с помощью бензиновых триммеров (рис. 1.3, а). Проведение данной технологической операции в короткие агротехнические сроки связано с необходимостью привлечения дополнительных трудовых и материальных ресурсов (рис. 1.3, б).



а) обработанная полоса ручным скашиванием



б) приствольная полоса без обработки

Рисунок 1.3 – Общий вид террасированного склона

Низкоэффективной является также прополка приствольной полосы из-за больших затрат физической силы и времени на обработку.

Следовательно, ведения садоводства в условиях склоновых земель существенно усложняет применения традиционных средств механизации, при этом повышаются требования к содержанию почв.

Применяемые в садах техника и технология в условиях склоновых земель должны решать задачи, связанные с повышением аэрации почвы, разрушением дождевых каналов для стока, а также снизить энергетические и материальные затраты на единицу произведенной продукции путем разработки и внедрения машин, обеспечивающих полную механическую обработку почвы приствольной полосы за один проход [6,7,8].

1.2. Анализ конструктивных особенностей машин, применяемых для механической обработки приствольных полос плодовых насаждений

Анализ исследований вопроса фрезерования приствольных полос показал, что наиболее проблемным моментом при рыхлении почвы вокруг штамба является минимальное расстояние от рабочих органов машины до рядов плодовых деревьев.

Главное требование для проектировщиков и конструкторов сельхозмашин это наиболее полная обработка площади приствольной полосы.

В современных садах в условиях равнинного земледелия механическую обработку приствольных полос проводят фрезами с горизонтальным и вертикальным расположением осей.

К машинам и механизмам для обработки почвы в рядах предъявляются следующие требования:

- фрезерные рабочие органы машин должны иметь допуск по смещению от оси трактора по ряду и свободно перемещаться под кронами;
- необработанная минимальная площадь защитной зоны у штамба не должна превышать 0,2 м².

-фрезерные рабочие органы машин при поступательном движении по междурядью не должны повреждать штамб.

Начиная с конца сороковых годов XX века, экспериментальных образцов машин и механизмов для механической обработки приштамбовой зоны было изготовлено более четырех десятков. Однако на данном этапе в промышленном производстве их нет. Данное положение подтверждает, как актуальность этой проблемы, так и сложность ее решения. Наиболее распространенной в нашей стране многие годы была болгарская фреза ФА-0,76 для обработки приствольных полос.

На основе работ Н. И. Герасимова, Я. З. Жилицкого [31, 42] и Л. А. Шомахова [131], а также, изучив по различным доступным источникам образцы сель-

хозтехники зарубежных фирм [139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147], составлена общая классификация геометрии секций рабочих органов машин для обработки почв в ряду деревьев (рис. 1.4).

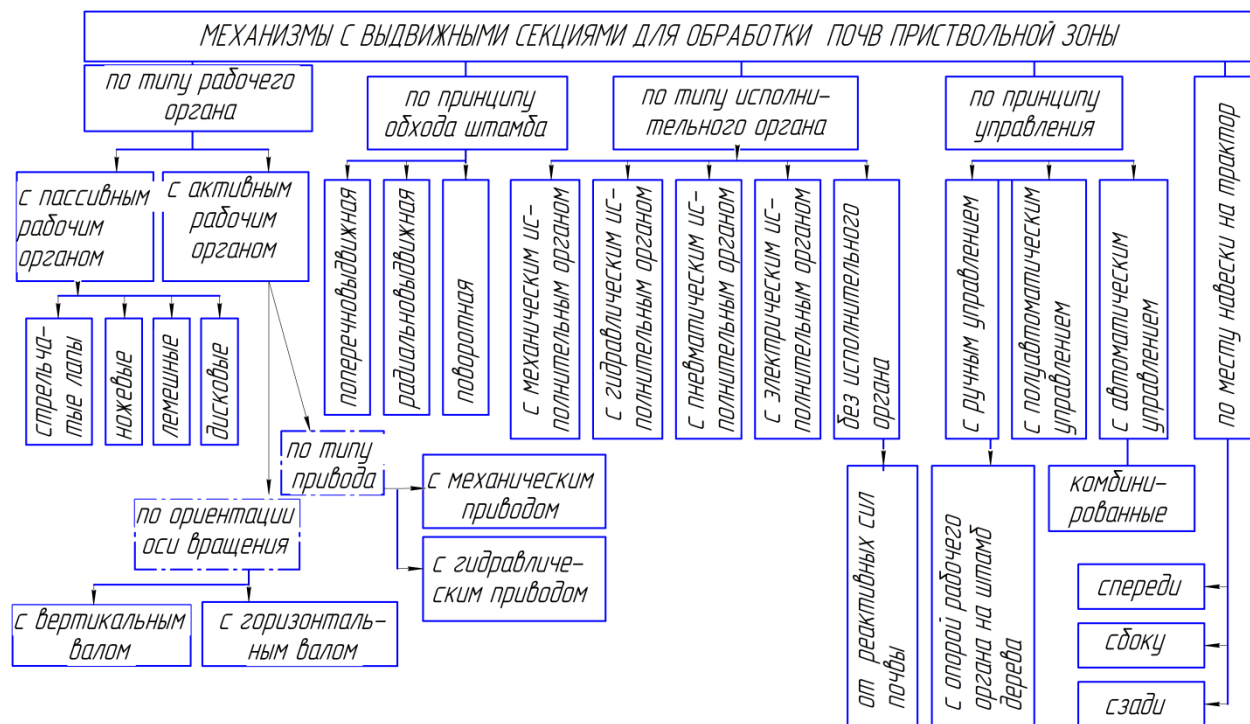


Рисунок 1.4 – Схема классификации технических средств и механизмов для механической обработки приствольных полос

Существующие в настоящее время выдвижные в поперечном направлении фрезерные секции, делятся на группы с пассивными (не активными) и активными рабочими органами.

Секции машин и механизмов для механической обработки почвы с пассивными рабочими органами обычно оснащены дисками и ножами, а также культиваторными лапами.

В основном, в Российской Федерации для обработки используют серийные садовые культиваторы КСШ-5 и его модификации, КСГ-5 и КСМ-5, а также механизм для обработки приствольных зон и полос ПМП- 0,6. Исполнительный рабочий орган данных машин представляет собой ножевые лапы, а у культиваторов типа КСШ-5Б и КСЛ-5 - стрелчатые лапы. Широко используются

французские культиваторы DECASOL, LAPORTE с выдвижными в поперечном направлении рабочими органами лемешного типа, а также итальянской фирмы DECAFRUIT.

Выдвижные секции с пассивными дисками оставляют большой процент многолетних сорняков с неподрезанными корнями [42, 43, 44]. При частом боковом перемещении нарушается угол атаки дисков с последующим нарушением микрорельефа обрабатываемой поверхности.

В рядовых условиях функционирования хорошо зарекомендовали механизмы с рабочими органами, имеющими принудительные вращения фрезами. По результатам многолетних исследований Российских и зарубежных ученых [5,13,22,24,26,50,51,56,58,59,69,94,98,114,145,146], фрезерование почвы обеспечивает хорошее качество рыхления, повышается аэрация и лучше сохраняется влага в почве. Также имеет место полное подрезание сорной растительности [99,110,115,117, 123,125]. Экспериментальными исследованиями установлено, что при механической обработке почвы приствольных полос меньше повреждаются корни фрезами [139]: корни не рвутся, а перерезаются с меньшими травмами.

Для механической обработки приствольных зон и полос применяются в основном горизонтальные и вертикальные фрезы. Широкое распространение в нашей стране получила Болгарская горизонтальная фреза ФА-0,76. Данная фреза представляет собой горизонтальный фрезерный рабочий орган, имеющий ширину 0,76 м (рис. 1.5).

Основным недостатком горизонтальных фрез является повышенный расход мощности при обеспечении перемещения рабочего органа в поперечном направлении от оси движения трактора в процессе ввода и вывода секции, при этом потребляемая мощность может возрасти на 30 % [69,71,73].

Стоимость фрезы ФА - 076 на 2023 г. составляет по различным источникам от 200 до 350 тыс.руб.



Рисунок 1.5 – Общий вид фрезы ФА-0,76 в рядовых условиях эксплуатации

Средняя частота вращения рабочего органа фрезы 300 мин^{-1} . После касания щупа штамба дерева срабатывает гидрораспределитель, и фреза выдвигается полностью из ряда, а после схода щупа происходит обратный вход в ряд.

Многолетняя эксплуатация данной фрезы показала высокие эксплуатационные характеристики при значительной засоренности обрабатываемой площади.

Садовая фреза горизонтальная FPS 80 (в комплекте фреза, гидравлический блок управления с 2-мя рычагами, радиатор охлаждения, карданный вал со сцеплением для каменистого поля) Calderoni (Италия) (рис. 1.6).

Минимальная ширина междурядий 330 см. Максимальный вылет от оси трактора 285 см. Рабочая ширина 80 см. Требуемая мощность трактора 40 л.с. Предназначена для обработки приствольных полос в посадках плодовых деревьев и ягодниках на площади 5 га/день. Уничтожает сорняки, рыхлит почву, позволяет ухаживать за приствольными полосами.



Рисунок 1.6 – Общий вид горизонтальной садовой фрезы FPS 80

Для тракторов от 40 л.с. монтируется на 3-х точечную навеску трактора. Машина работает через карданный вал от ВОМ трактора.

Конструкция фрезы обладает высокой надёжностью и прочностью, благодаря выполнению из сварных и болтовых стальных элементов.

Особенности эксплуатации:

- увеличенный боковой сдвиг;
- высокая скорость работы;
- бережное отношение к стволам деревьев благодаря специальному щупу;
- возможность разных вариантов работы: горизонтальная почвенная фреза (ножи) или окучивание (диски).

Стоимость фрезы на 2023 г. составляет 1200000 р.

Садовая горизонтальная фреза марки Kadioglu, модель Еко (в комплекте фреза, гидравлический блок управления с 2-мя рычагами, радиатор охлаждения, карданный вал со сцеплением для каменистого поля производства Турции) (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 – Общий вид горизонтальной садовой фрезы Kadioglu

Минимальная ширина междурядий 310 см. Максимальный вылет от оси трактора 265 см. Рабочая ширина 75 см. Требуемая мощность трактора 35 л.с. Предназначена для обработки 4.2 га/день приствольных полос в посадках плодовых деревьев и ягодниках.

Стоимость данной фрезы на 2023 г. составляет 530000 р.

Вертикальные фрезы также хорошо зарекомендовали себя при обработке как средних, так и тяжелых по составу почв.

Вертикальные фрезы при выполнении технологического процесса совершают полезную работу на всей траектории движения режущих ножей.

Также можно отметить, что подрезанные корневые остатки максимально извлекаются из почвы.

При обработке приствольного круга плодовых деревьев в рядовых условиях эксплуатации вертикальные фрезы можно подводить к штамбу без его повреждения на минимальное расстояние.

Основными недостатками вертикальных фрез являются повышенный разброс почвы в процессе фрезерования.

Следовательно, вертикальные фрезы в рядовых условиях эксплуатации являются наиболее перспективными для полной обработки приштамбовой зоны. Поэтому необходимо дальнейшее изучение и оптимизация конструктивно-технологических параметров механизма для полного обхода штамба дерева секциями вертикальной фрезы.

Также распространение получили итальянские фрезы серии EL, как фрезы для механической обработки приштамбовой зоны с вертикальными смещающимися поперечно рабочими органами (рис. 1.8).

Вертикальные фрезы с 4 роторами и боковым смещением с гидравлическим приводом являются решением для обработки приствольных полос в садах и виноградниках с близким расположением деревьев и кустов в ряду (минимум 50 см).



Рисунок 1.8 – Общий вид вертикальной фрезы EL 90

Серия EL обеспечивает полное удаление сорной растительности при минимальной глубине работы и выравнивание почвы без образования канав при боковом смещении. Угол наклона головки с роторами регулируется при помощи гидравлического привода. Ширина захвата, 65 см. Боковое смещение, 40 см. Глубина обработки 0,5...10 см. при весе 260 кг и мощности трактора 30 л.с.

Широко используется также двухроторный ротационный рыхлитель почвы HUMUS немецкой фирмы Bernard Krone (рис. 1.9), состоящий из рамы 7, для

навески на трактор, поперечной несущей балки 2, соединенной с рамой параллелограммным механизмом 3.

Диски 4 соединяются с валом редуктора с помощью фрикционной передачи. Муфта фрикционная 5 от цепной передачи и щуп сигнальный 6 предназначены для отвода бруса автоматический с дисками от штамба. Движение бруса, а также его фиксация в рабочем положении обеспечиваются пружинами 7.

При касании щупа штамба дерева посредством кинематических связей включается муфта и через цепную передачу производится отведение рабочих органов фрезы от штамба.

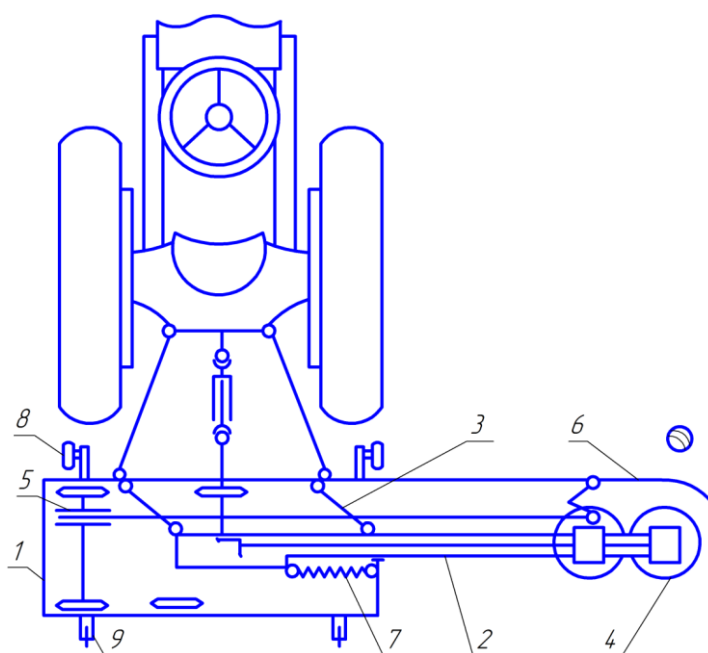


Рисунок 1.9 – Схема двухроторной фрезы с механическим приводом исполнительного механизма

После освобождения щупа под действием рычага муфта выключается и фрезерные рабочие органы возвращаются в исходное состояние.

Глубина обработки почвы регулируется положением опорных колес 8 относительно несущей рамы.

Производственные испытания двухроторной машины HUMUS выявили основной недостаток в виде неполного уничтожения корней сорной растительности.

Конструкция обладает значительной инерционной нагрузкой, обусловленной большой массой рабочих органов при входе и выходе из междурядья. Это вызывает динамические колебания, для компенсации которых на задней части несущей рамы установлены два балансировочных диска 9 (рис. 1.9), заглубляющиеся в почву в процессе работы фрезы.

Применение в сельхозмашинах гидропривода способствовало дальнейшей автоматизации процесса ввода и вывода рабочих секций при обработке приствольной полосы.

Разработанная во ВНИИС им. И.В. Мичурина садовая фреза ФС-0,6 с осью вращения расположенной вертикально снабжена гидравлической системой отвода и слежения (рис. 1.10).

Однороторный фрезерный механизм представляет собою телескопическую балку 1 с опорным колесом 2, на конце балки смонтирована радиальная секция 3, с вертикальной фрезой 4. Гидросистема отвода рабочего органа точно копирует движение сигнального щупа 5.

Следовательно, в рядовых условиях эксплуатации наличие исполнительного механизма снижает надежность агрегата.

При механической обработке задерненной приствольной полосы и зоны приствольного круга необходимо, чтобы рабочие органы обрабатывали вокруг штамба без его повреждения.

Для очищения площади вокруг штамба дерева используют различные методы [2,4,5,11,30,42,47,56,60,65,66,67,72,124] (рис. 1.11)

Наиболее широко применяется механический метод обработки приштамбовой зоны, с применением почвообрабатывающих машин и орудий [2,3,4,5,11,12,30,37,38,44,47,50,54,66,77,81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,93, 106, 108, 109,127,133] в равнинных и в находящихся на склонах садах.

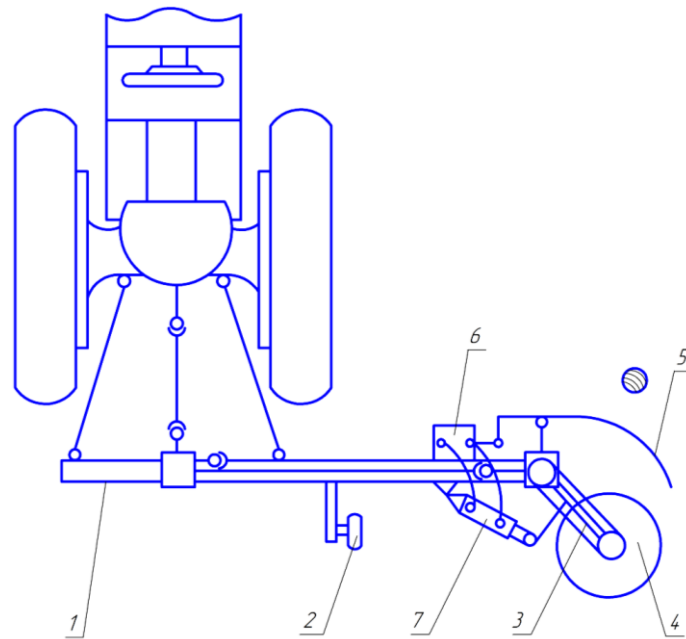


Рисунок 1.10 – Схема садовой фрезы ФС-0,6 с вертикальной осью вращения

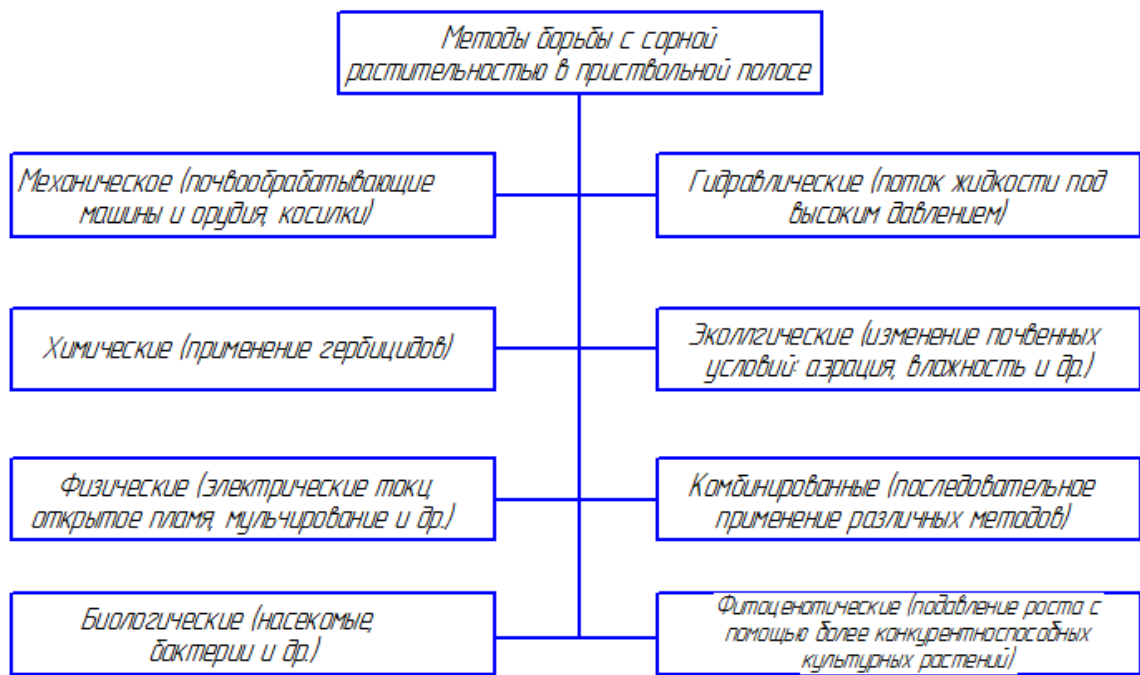


Рисунок 1.11 – Схема основных используемых методов обработки зоны приствольного круга

При обработке зоны приствольных полос важным и трудоемким аспектом является вопрос обхода штамба. Для решения этой задачи используются машины и механизмы, которые можно разделить на два типа [6, 8,9,34, 56,72, 71]:

1. Без вывода рабочей детали механизма из полосы.
2. С вводом и последующим выводом рабочего узла из линии ряда.

В устройствах первого типа обход штамба происходит отклонением рабочего органа от действия силы реакции штамба или реакцией, появляющейся при резании почвы.

Достоинство данного типа – это низкая себестоимость изготовления. Недостатки – частое травмирование коры дерева из-за инерционных сил при его обходе. Обход штамба фрезерным рабочим органом обычно реализуется двумя способами:

- 1) посредством сигнального щупа с активацией поворотного механизма;
- 2) за счет реакции почвы [10].

В конструкциях с принудительным вводом-выводом секции обход выполняется путем механического смещения фрезерного узла при приближении к штамбу.

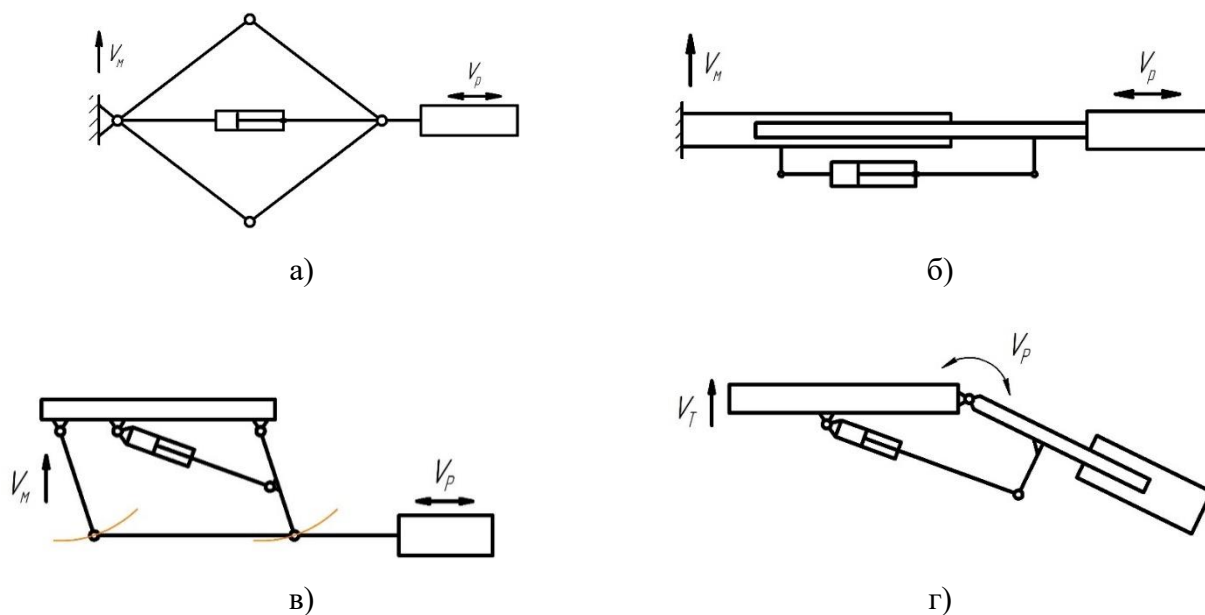
Исполнительный механизм для принудительного ввода и вывода включает щуп, гидрораспределитель и механизм перемещения фрезерной секции с использованием кинематических связей. Для этого применяются различные механизмы (рис. 1.12):

1. На брус с раздвижным параллелограммом (рис. 1.12, а).
2. На телескопическом брус (рис.1.12, б).
3. Параллелограммный механизм (рис.1.12, в).
4. Радиально несущий брус (рис.1.12, г).

Схема отвода (рис. 1.12, в), представляющая собой параллелограммный механизм, включает в себя переднюю балку, которая служит неподвижной частью рамы, а остальные стороны кинематически соединены с ней. Допускаемые перемещения происходят в горизонтальной плоскости с помощью силового гидроци-

линдра. Основным недостатком данной схемы являются значительные инерционные нагрузки, действующие на детали рамы и передающиеся на навеску.

Схема отвода секции с радиально перемещающимся несущим брусом (рис. 1.12, г) происходит за счет проворачивания рабочих секций вокруг точки подвеса, вследствие чего движения роторов осуществляются по дуговой координате назад по движению агрегата.



а) с центральным параллелограммным механизмом; б) на телескопической несущей балке; в) параллелограммный механизм; г) с перемещающимся радиально несущим брусом

Рисунок 1.12 – Виды кинематических схем функционирования механизмов

Основными недостатками схемы являются:

- отвод рабочей секции, который оставляет необработанной часть приствольной зоны;
- существенное усложнение конструкции, влияющее на себестоимость;
- снижение надежности агрегата из-за сложных кинематических связей, и больших инерционных нагрузок;
- перегрев гидравлической жидкости из-за интенсивного включения, приводящий к снижению сменной производительности машины.

При этом минимизируется контакт рабочей секции со штамбом, следовательно, его травмирование.

В процессе проведения поиска по результатам интеллектуальной деятельности было выявлено 12 патентов на изобретения и полезные модели из базы ФИПС и отечественных источников, направленных на разработку и совершенствование рабочих органов и машин для приствольной обработки плодовых насаждений.

На рисунках 1.13...1.24 представлены конструктивно-технологические схемы рабочих органов и машин для обработки почвы в приствольной полосе плодовых насаждений.

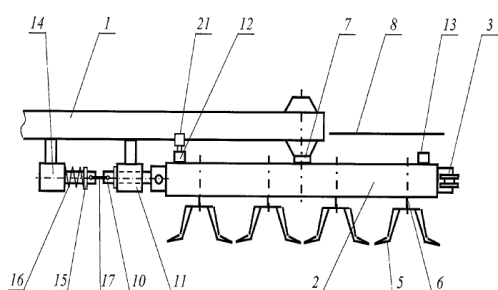


Рисунок 1.13 – Схема машины для обработки приствольных полос в саду (патент РФ № 2412569 [81])

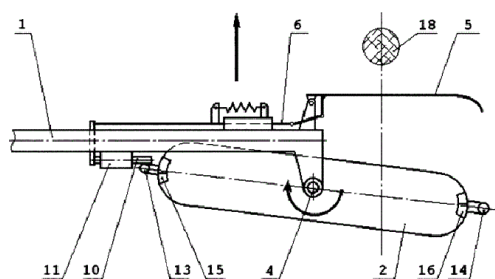


Рисунок 1.14 – Схема машины для обработки междовольных полос в саду (патент РФ № 2412569 [82])

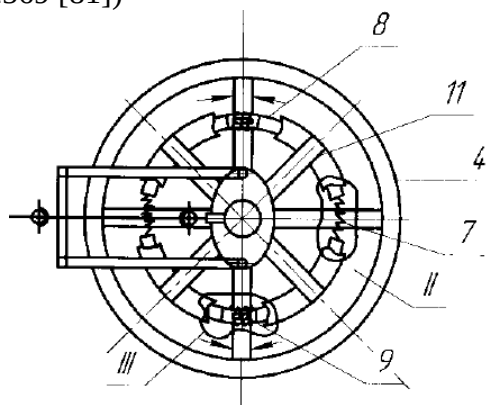


Рисунок 1.15 – Схема почвообрабатывающей фрезы для обработки приствольных полос в садах (Патент РФ № 2348133 [83])

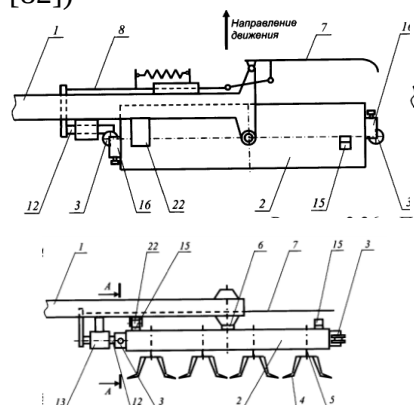


Рисунок 1.16. – Схема машины для обработки приствольных полос в саду (Патент № 2350060 [84])

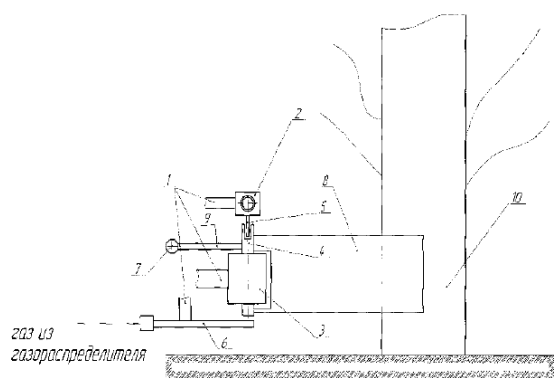


Рисунок 1.17 – Схема огневого культиватора для обработки сорных растений в приствольных полосах сада (Патент на полезную модель № 101324 [89])

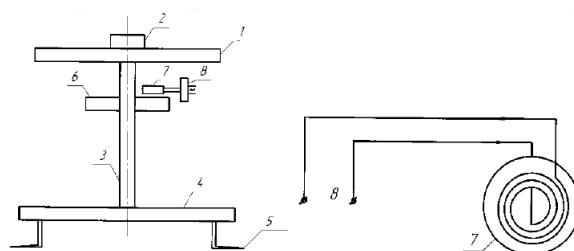


Рисунок 1.18 – Схема почвообрабатывающей фрезы для обработки приствольных полос в садах (Патент № 2374801 [86])

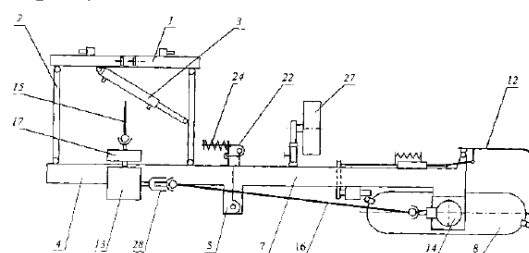


Рисунок 1.19 – Схема машины для обработки приствольных полос в саду (Патент № 2405292 [87])

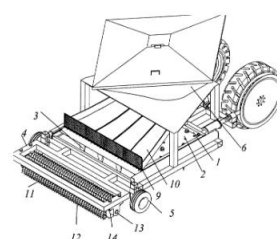


Рисунок 1.20 – Схема многофункционального агрегата для обработки почвы междурядий садов и виноградников (Патент № 197353 [88])

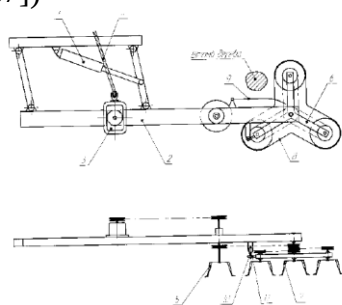


Рисунок 1.21 – Схема фрезы для приствольной полосы (Патент на полезную модель № 184892 [92])

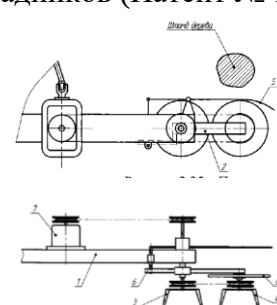


Рисунок 1.22 – Схема фрезы для обработки приствольных полос интенсивного сада (Патент на полезную модель № 206892 [90])

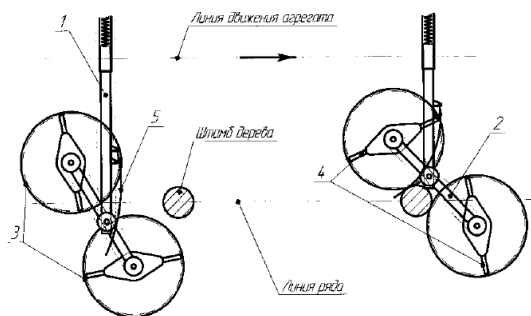


Рисунок 1.23 – Схема фрезы для террасного сада (Патент № 214799 [91])

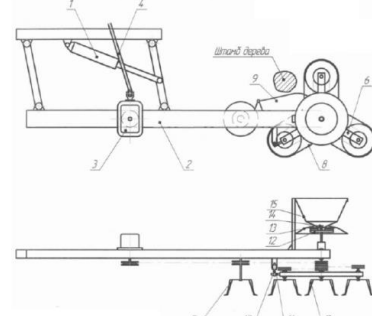


Рисунок 1.24 – Схема комбинированной фрезы для приствольной полосы (Патент на полезную модель № 222230 [93])

Проведенный анализ патентной информации показал, что предлагаемые конструктивные решения направлены на повышение эффективности применения машин для обработки приствольных полос плодовых насаждений путем разработки устройств для ввода и вывода отклоняющих штанг с фрезами из приштамбовой зоны деревьев (рис. 1.13, 1.14, 1.16, 1.19, 1.21, 1.24). Большой интерес представляет почвообрабатывающая фреза для приствольных полос в садах (рис. 1.15 и рис. 1.18), в которых используется магнитоимпульсная установка, обеспечивающая частоту колебаний не более 40 кГц с амплитудой не менее $0,5 \cdot 10^{-3}$ м, посредством магнитноимпульсных колебаний происходит уничтожение сорной растительности. Для уничтожения сорной растительности используется огневой культиватор (рис. 1.17). При обработке приствольных полос плодовых насаждений и междурядий предлагаются комбинированные устройства для фрезерования и внесения удобрений (рис. 1.20 и 1.24), однако данные устройства находятся в стадии изучения.

Специалистами ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» разработан гидравлический агрегат для борьбы с сорняками в приствольных полосах многолетних насаждений [135] (рис. 1.25).



Рисунок 1.25 – Общий вид головки распылителя

Хотя гидравлический метод (с использованием водопроводной воды) демонстрирует высокую эффективность и экологическую безопасность при обработке подкronовых и приствольных зон, его применение в условиях горного са-

доводства имеет существенные ограничения. Интенсивный водяной поток вызывает оголение корневой системы, что может привести как к гибели растений, так и к развитию эрозии почв. В связи с этим, механический способ обработки с одновременным фрезерованием приствольных полос сохраняет свою актуальность в плодоводстве.

С учетом изложенного, наиболее перспективной схемой для достижения поставленной цели является фреза для террасного сада (рис. 1.23).

1.3. Обзор научных исследований процесса фрезерования приствольных полос в промышленных садах

Большой вклад в исследование процессов механической обработки междурядий и приствольных зон в промышленных садах внесли: А. И. Завражнов, Л. А. Шомахов, П. А. Цымбал, Н. В. Алдошин, Е. И. Трубилин, В. А. Дробот, А. С. Пронь, К. А. Манаенков, С. И. Камбулов, Ю. А. Шекихачев, Л. М. Хажметов, Е. А. Полищук и другие ученые [45-49, 131-134, 125, 124, 135, 136, 113-116, 117, 119, 101, 102, 67-72, 52-54, 127-128, 122, 11]. По результатам проведенных многолетних теоретических и экспериментальных исследований Манаенковым К.А., Хатунцевым В.В. и Ланцевым В.Ю. предложена четырехроторная вертикальная фреза, конструктивно–технологическая схема которой показана на рисунке 1.26 [69].

Четырехроторный фрезерный агрегат (рис. 1.26) состоит из следующих основных узлов:

1. Несущая рама (1) с параллелограммным механизмом (2), установленная на корпус (3);
2. Четыре вертикальных вала с закрепленными L-образными фрезами (4);
3. Приводная система:
 - Валы (5, 6) от ВОМ трактора;
 - Редукторы (7, 8);
 - Ременная передача (9);

- Прямозубая передача (10);

4. Вспомогательные элементы:

- Фиксаторы (12);

- Сигнальный щуп (14).

Данный агрегат регулируется по высоте опорным колесом 13.

В рядовых условиях эксплуатации правая половина фрезерной рабочей части 3 всегда находится в правой линии ряда.

При срабатывании щупа 14 фиксатор 12 отпускает упор левой половины фрезерного рабочего органа. При срабатывании фиксатора корпус проворачивается от возникающего вращающего момента сил реакции почвы с одновременным обходом штамба. После освобождения щупа, упор правой половины удерживает корпус от дальнейшего поворота и процесс повторяется у следующего штамба.

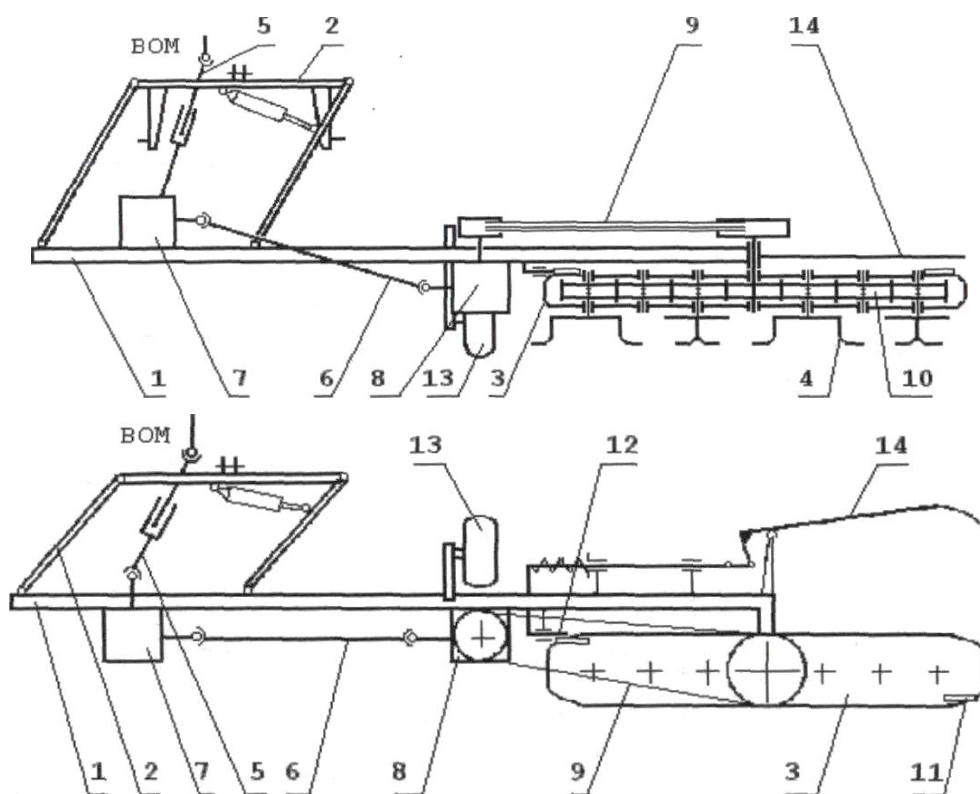


Рисунок 1.26 – Схема четырехроторного вертикального фрезерного агрегата

Принцип работы четырехроторной фрезы основан на том, что фрезерование почвы в ряду производится за два прохода для исключения огрехов и необхо-

димости полного перекрытия рабочими органами фрезы линии ряда. При этом рабочая ширина захвата составляет 0,33 м на один ротор.

А.Л. Хажметовой, профессорами Ю.А.Шекихачевым и Л.М. Хажметовым разработана и реализована технология обработки междурядий и приствольных полос в интенсивных садах на склоновых землях (рис. 1.27) [123].

Предлагаемая технология заключается в том, что предварительно скошенная растительность с поверхности отбрасывается в сторону приштамбовой зоны. После происходит процесс смешивания растительной массы с почвой при работе фрезерной секции с последующей гумификацией измельченной растительности. Экспериментально-теоретическое обоснование параметров работы агрегата показало, что максимальная эффективность (крошение почвы на 92,3% и распределение мульчи на 97,6%) достигается при следующих режимах:

1) поступательное движение - 1,92 км/ч; 2) вращение фрезерного ротора - $40,4 \text{ с}^{-1}$ (угол наклона ножа 63°); 3) работа косилки - 202 с^{-1} (высота планки 43 мм). Данные параметры обеспечивают эффективное выполнение поставленных задач в процессе работы.



а)



б)

Рисунок 1.27 – Экспериментальный образец машинотракторного агрегата для обработки междурядий и приствольных полос (а) и рабочей фрезерной секции (б)

Л. А. Шомахов разработал и внедрил систему машин и агрегатов, предназначенных для обработки приствольных полос и междурядий в интенсивных садах, адаптированных к условиям горных и предгорных зон [130-134].

С. В. Сальников по результатам проведенных теоретических и экспериментальных исследований предложил методику для определения оптимальных параметров выносной секции при обходе штамба [108].

Предложены аналитические зависимости, связывающие параметры перемещения ротора по штамбу от геометрии ротора и коэффициента трения колесо-штамб [108]:

$$S = \frac{R}{2g} \ln \frac{V_0^2 + \sqrt{g^2 R^2 + V_0^4}}{V^2 + \sqrt{g^2 R^2 + V^4}}, \quad (1.1)$$

где R – радиус колеса, м; V_0 – начальная скорость ротора, м/с; f – коэффициент трения; g – ускорение свободного падения, м/с²; V – окружная скорость ротора при движении по штамбу дерева м/с;

Для определения силовых параметров при взаимодействии отбойного колеса со штамбом можно использовать следующее выражение [30]:

$$N = \frac{M \cdot V^2 \cos \alpha (1+k)}{L}, \quad (1.2)$$

где N – нормальная сила реакции, Н; V – скорость ротора, м/с; M – масса секции, кг; k – коэффициент восстановления; L – перемещение рабочего органа, м.; α – угол между направлением поступательной скоростью центра масс в начале контакта и нормалью n , град.

Данная зависимость позволяет определить оптимальное значение силы давления ротора на штамб, и дает возможность выбора безопасного его значения в зависимости от механических характеристик материала штамба.

С помощью этой методики расчета были определены основные конструктивно-технологические параметры при взаимодействии предохранительного колеса со штамбом: скорость движения агрегата 2,5...7,0 км/ч; коэффициент трения

0,3...0,5; вес роторной секции 39 кг, радиус секции до 0,7 м. диаметр штамба до 10...18 см;

При этом параметры максимального давления на штамп находятся в допустимых пределах 0,4...0,9 МПа [108].

Рабочие органы машин при обработке приствольной зоны деревьев часто имеют контакт со штамбом с возможностью его механического повреждения.

Степень механических повреждений штамба напрямую коррелирует с модулем силы давления, передаваемой рабочим органом на дерево. Данный параметр служит ключевым критерием при оценке интенсивности повреждений. В промышленном садоводстве для обработки приштамбовой зоны преимущественно применяются машины, оснащенные гидравлическими следящими системами позиционирования.

Они обеспечивают более точное и эффективное взаимодействие со штамбом, минимизируя риск нанесения повреждений деревьям. Такой подход позволяет оптимизировать процесс обработки, улучшая качество работы и продлевая срок плодоношения деревьев [80, 111].

Основным требованием к данному механизму является величина допускаемой силы взаимодействия сигнального щупа со штамбом [80, 111].

В исследованиях Г.Г Пархоменко [80] получена зависимость, связывающая кинематические и динамические параметры щупа с величиной импульса от удара:

$$S_{уд} = \frac{m \cdot V_a \cdot (l_{щх}^2 - 3 \cdot l_{щх} \cdot l_5 + 3l_5^2)}{3 \cdot (l_4 - l_1)^2}, \quad (1.3)$$

где V_a – скорость тракторного агрегата м/с; m – масса щупа кг.; l_5 – расстояние от точки подвеса щупа до точки крепления пружины, удерживающей щуп м.

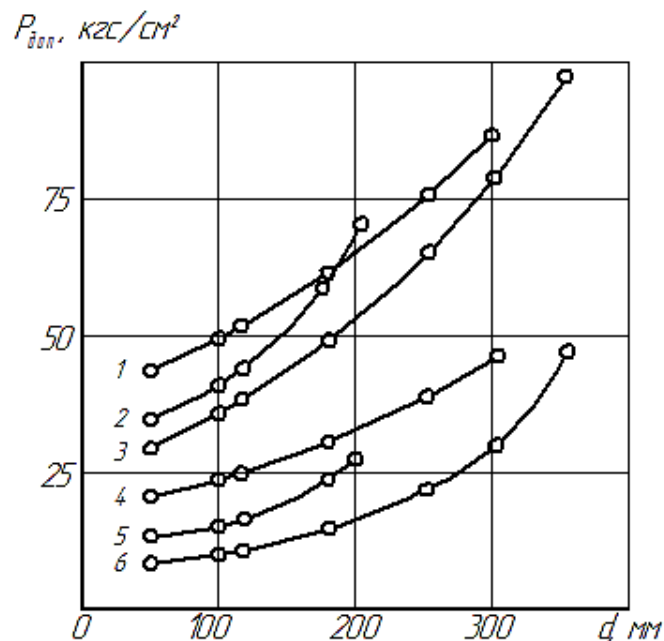
Экспериментальные исследования выявили оптимальные параметры прямолинейного щупа (при $m=0,5$ кг, $l_5=0,1$ м, $l_4= 0,71$ м, $V_a= 2$ м/с, $l_1= 0,05$ м.), гарантирующие сохранность штамба при ударном импульсе $\leq 0,65$ кг·м/с [80]. До-

пустимые значения контактного давления в зависимости от диаметра штамба при динамических нагрузках представлены в работе Варламова Г.П. (рис. 1.28) [25].

Установлено, что касательные напряжения существенно снижают допускаемые значения нормальных давлений.

В работе К. А. Манаенкова приведены результаты исследований величины допустимых усилий на штамб от площадки контакта (рис. 1.29) [67].

Согласно результатам исследований, описанных в работах В. И. Котысько и Р. С. Шевчук, кора штамба рассматривается как биологический объект, позволяющий определить допустимые значения нормального давления при захвате штамба плодуборочной машиной [57,126].



1, 4 – вишня и черешня; 2, 5 – фундук, миндаль; 3, 6 – яблони, сливы, абрикосы и орехи

Рисунок 1.28 – График зависимости давления $P_{дон}$ допускаемого на штамб от диаметра штамба

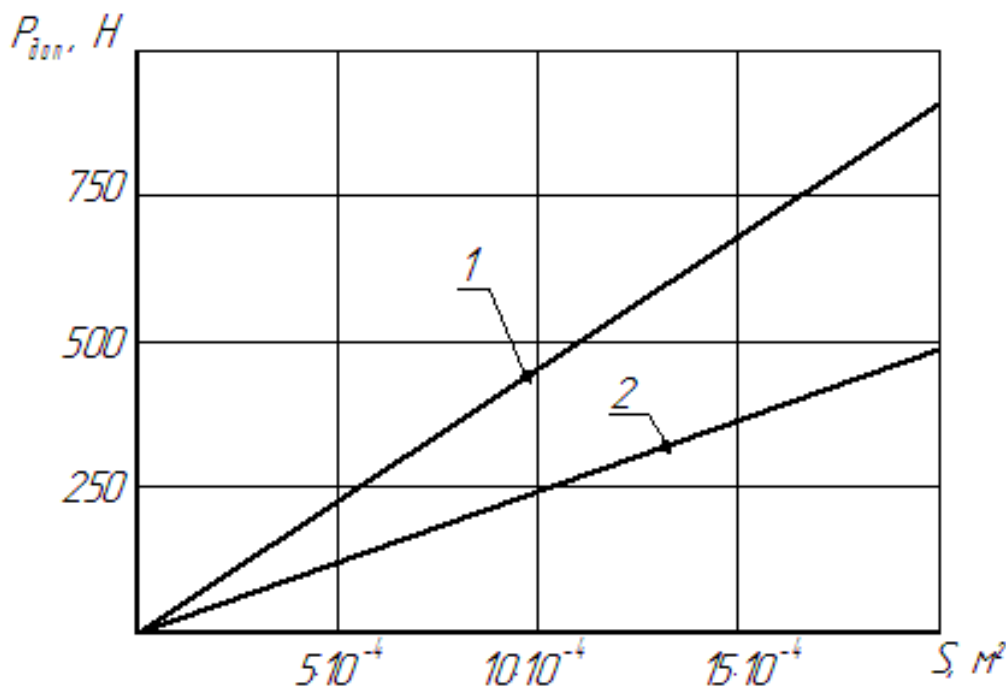
Проведенный анализ предельных нагрузок на штамб показал следующее:

1. Безопасный порог: $\leq 1,63$ МПа (допускается многократное воздействие без ущерба для роста и плодоношения).

2. Повреждающий диапазон: 2,12-3,10 МПа;

- 2 цикла: незначительные обратимые повреждения;
- 4 цикла: макротрещины, отслоение коры, необратимые повреждения.

Эти результаты подчеркивают важность контроля уровня давления при обработке, чтобы минимизировать негативные последствия на кору штамба деревьев.



1- взрослые деревья; 2 - саженцы

Рисунок 1.29 – График зависимость допустимой силы давления от параметра площади контакта

В настоящее время эффективно используются инновационные технологии и комплекс машин для обработки приствольных зон и междурядий в условиях равнинного садоводства.

Горный рельеф и террасированная организация садов существенно ограничивают применение традиционной садовой техники из-за невозможности подхода к приствольным зонам со стороны откосов.

Данный факт обуславливает потребность в создании специализированной почвенной фрезы, способной обеспечивать полную обработку приствольной полосы за единичный проход, без выхода из линии ряда.

1.4. Выводы, цель и задачи исследования

Освоение новых земель в предгорных и горных зонах юга России для производства плодовой продукции соответствует принципам рационального использования земельных ресурсов и способствует повышению эффективности сельского хозяйства. В таких условиях целесообразно применение механической обработки почвы в промышленных садах, особенно на склоновых участках.

Механическая обработка приствольной зоны и междурядий улучшает аэрацию почвы, разрушает дождевые каналы, а также увеличивает содержание органических веществ и общее плодородие. Применяемые на данном этапе конструкции садовых фрез не позволяют проводить полную обработку приствольной зоны за один проход фрезы вдоль линии ряда, что ограничивает эффективность их применения в террасном садоводстве, где доступ к штамбу плодового дерева возможен только с одной стороны: со стороны полотна террасы.

Следовательно, разработка новой конструктивно-технологической схемы двухроторной садовой фрезы, позволяющей эффективно обрабатывать приствольные полосы плодовых насаждений в террасном садоводстве за один проход вдоль линии ряда, является актуальной.

Рабочая гипотеза: полное фрезерование площади вокруг штамба плодового дерева в условиях террасного садоводства может быть достигнуто путем определения оптимальных параметров и режимов работы двухроторной садовой фрезы за один проход при движении вдоль линии ряда.

Цель исследования – обоснование параметров и режимов работы двухроторной садовой фрезы, обеспечивающие полную обработку приствольной полосы плодовых насаждений за один проход при движении вдоль линии ряда в условиях террасного садоводства.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи исследований:**

1. Разработать конструктивно-технологическую схему вертикальной двухроторной садовой фрезы, обеспечивающую качественную обработку приствольной полосы плодовых насаждений за один проход при движении вдоль линии ряда в условиях террасного садоводства.
2. Получить аналитические зависимости для обоснования рациональных конструктивных параметров и пределы их изменения при полном обходе двухроторной садовой фрезой вокруг штамба дерева.
3. Обосновать метод расчета динамической устойчивости ротора садовой фрезы.
4. Экспериментальным путем определить оптимальные параметры и режимы работы двухроторной садовой фрезы по критерию полноты фрезерования площади вокруг штамба плодового дерева.
5. Сопоставить результаты теоретических и экспериментальных исследований.
6. Определить экономическую эффективность применения двухроторной садовой фрезы.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА РАБОТЫ ДВУХРОТОРНОЙ САДОВОЙ ФРЕЗЫ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПРИСТВОЛЬНЫХ ПОЛОС ПЛОДОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ

2.1. Обоснование конструктивно-технологической схемы двухроторной садовой фрезы

На террасированных склонах, наиболее труднодоступным участком приствольной полосы для обработки, является зона приствольного круга. Проведенный выше анализ конструкции фрезерных рабочих органов показал, что разработка нового конструктивного решения фрезы, позволяющая качественно обрабатывать приствольную зону деревьев на террасированных склонах без выдвижения рабочего органа из ряда деревьев за один проход, является актуальной для условий склонового промышленного садоводства.

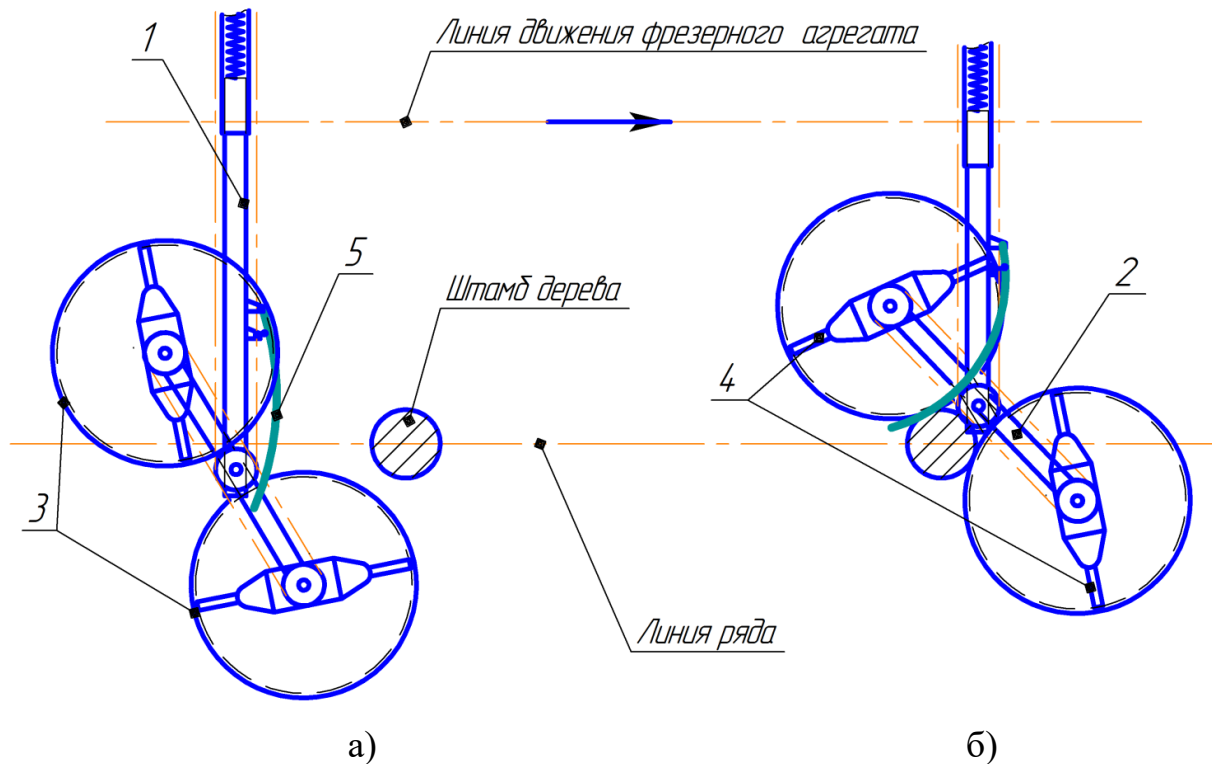
Предлагается двухроторная садовая вертикальная фреза, конструктивная особенность которого позволяет произвести обход штамба дерева полностью за один проход по ряду [91] (рис. 2.1) (Приложения VIII-XI).

Конструктивной особенностью двухроторной садовой фрезы является поворот рабочей фрезерной секции, происходящий за счет реактивных сил от почвы при его работе.

После контакта выносного технологического щупа со штамбом дерева при помощи кинематических связей конструкции фрезы срабатывает механизм поворота фрезерных роторов, позволяющий выполнить их поворот вокруг штамба на угол 180^0 , достаточный для обработки зоны приствольного круга полностью.

На рисунке 2.1 показано положение несущих и рабочих деталей поворотной секции фрезы на начальном и конечном этапах обработки всей площади вокруг штамба. Технический результат предлагаемой конструкции полезной модели сводится к обработке максимальной площади приштамбовой зоны фрезерными

рабочими органами при выполнении технологического процесса.



а) в начале входа в контакт со штамбом дерева, б) в конце выхода из контакта со штамбом дерева

Рисунок 2.1 – Конструктивно-технологическая схема вертикальной двух-роторной фрезы (Пат РФ № 214799)

Технический результат данной модели достигается тем, что поворотный рабочий орган имеет вид жесткого стального бруса с размещенными на его концах роторами и свободно вращающимися предохранительными колесами, установлена под расчетным углом к линии ряда также телескопическая упругая несущая балка, обеспечивающая постоянный контакт предохранительных колес со штамбом.

Установленная под расчетным углом к линии ряда поворотная балка, обеспечивающий безотрывной контакт со штамбом при обходе посредством упругих элементов, входящих в конструкцию, позволяет наружному ротору находиться впереди внутреннего для обработки площади приствольного круга, расположенного за штамбом дерева, до начала процесса обхода.

Предлагаемая двухроторная садовая фреза (рис. 2.1) состоит из навешиваемой на раму трактора телескопической несущей балки 1, поворотного бруса 2, предохранительных колес 3, фрезерных рабочих органов 4, а также механизма для управления поворотом с щупом 5 и системы рычагов с кинематическими связями взаимодействующих с упором несущей телескопической балки поворотного бруса.

К подвеске трактора крепится телескопическая несущая балка 1 с упругими элементами, на конце которого установлен шарнирно поворотный брус 2 с предохранительными колесами 3 для защиты ствола дерева от повреждений при его обходе ножами и свободно вращающимися вокруг своей оси, а также фрезерные рабочие органы 4. Ось вращения поворотного бруса 2, с размещенными на нем предохранительными колесами 3 и вертикальными фрезерными рабочими органами 4, проходит через линию, соединяющую центры роторов.

При движении данного агрегата по ряду деревьев поворотный брус 2 с фрезерными ножами 4 удерживается от свободного вращения механизмом управления поворотом.

При подходе к дереву сигнальный щуп 5 касается штамба и отклоняется посредством системы рычагов, освобождая поворотный брус 2 с установленными на нем фрезерными рабочими органами 4. Под действием реактивных сил возникающих от взаимодействия ножей с почвой, брус поворачивается на 180^0 , обходя штамп дерева с полной механической обработкой площади вокруг штамба.

При обходе штамба дерева пружины сжатия, находящиеся в телескопической несущей балке 1, обеспечивают постоянный контакт предохранительных колес и штамба дерева.

После освобождения сигнального щупа 5 от связи со штамбом механизм управления поворотом возвращается в исходное положение, фиксируя сразу поворотный брус 2.

После очередного касания щупа со следующим штамбом процесс обхода полностью повторяется.

На рисунке 2.2 приводится показатель качества работы двухроторной фрезы.

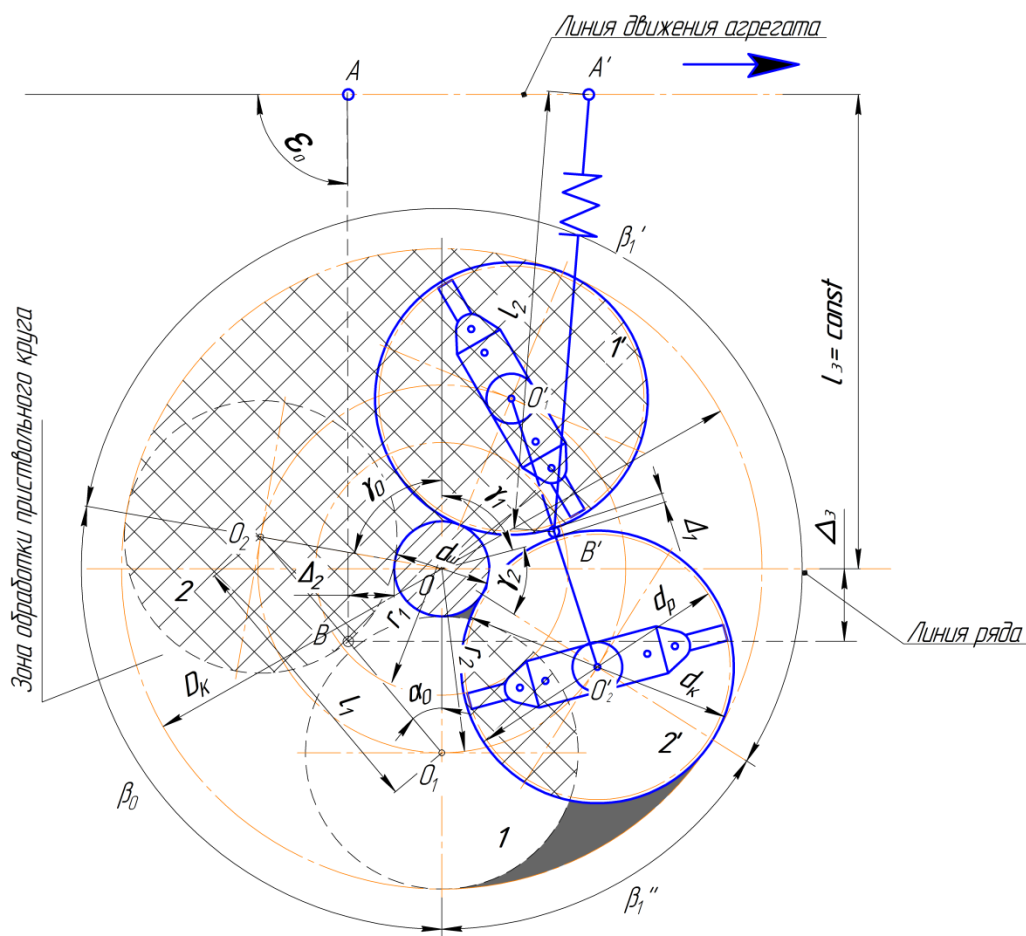


Рисунок 2.2 – Конструктивно-технологическая схема фрезы в начале контакта со штамбом дерева

Полнота фрезерованной вокруг штамба площади S_0 , % это отношение обработанной полностью вокруг штамба площади к необработанной площади:

$$S_0 = \frac{S_0}{S_0 + S_n} \cdot 100, \quad (2.1)$$

где S_0 – обработанная фрезерными роторами площадь, m^2 ; S_n – необработанная фрезерными роторами площадь, m^2 .

Обработка фрезой будет качественной при условии:

$$S_0 = S_k, \quad (2.2)$$

где S_k – площадь обрабатываемого круга, m^2 .

Величину площади приствольного круга, обрабатываемой вертикальными роторами в процессе работы определим по выражению:

$$S_1 = \frac{\pi(R^2 - r^2)}{360} \cdot \beta + \pi r_p^2, \quad (2.3)$$

где $R = 0,5D_k$ – радиус режущей кромки ножа фрезы по наружной точке, м; $r = 0,5d$ – радиус режущей кромки по внутренней точке, м; $r_p = 0,5d_p$ – радиус ротора с ножами, м; β – угол обхода роторами приствольного круга, град.

Значение площади, обработанной вокруг штамба, зависит от геометрии деталей фрезерной поворотной секции (диаметр фрезерных роторов) и параметром обхвата ножами роторов приствольной зоны.

Расчетный диаметр роторов d_p будет определяться из необходимости обеспечения полной механической обработки приствольной зоны диаметром D_k для обеспечения их взаимного перекрытия.

Наружный диаметр рабочих ножей, для полного охвата площади вокруг штамба, получим из следующих уравнений:

$$\begin{cases} D_k = L_n + 2a \\ D_k = d_{ш} + 2d_p \end{cases} \quad (2.4)$$

где L_n – ширина полосы обработки, м; a – размер перекрытия ряда, м; d_p – наружный диаметр ротора, м. $d_{ш}$ – диаметр штамба, м.

Диаметр предохранительных колес будет больше диаметра ножей:

$$d_k = d_p + 2e, \quad (2.5)$$

где e – допустимое безопасное расстояние от ножа до штамба, м.

Значение угла обхвата роторами фрезы максимальной площади приствольного круга, град:

$$\beta = \beta_0 + \beta_1, \quad (2.6)$$

где β_1 – минимальное значение угла поворота роторов при обходе штамба, град; β_0 – значение начального угла установки, град.

Тогда из равнобедренного треугольника O_1OO_2 (рис. 2.2) значение угла β_0 :

$$\beta_0 = 180^\circ - 2\alpha_0, \quad (2.7)$$

где α_0 максимальное значение угла установки поворотного бруса, град.

Значение угла установки поворотной балки фрезы α_0 к линии перпендикулярно линии ряда необходим для того, чтобы до начала срабатывания сигнального щупа при его касании штамба, вся площадь за штамбом уже должна быть фрезерована.

Условие полной обработки соблюдается предварительно при расположении центра ротора 1 (точка O_1) и штамба (точка O) на одной линии перпендикулярной линии движения.

Угол α_0 получим при касании предохранительных колес штамба при его обходе в виде вписанной окружности между предохранительными колесами.

При условии $OO_1 = OO_2 = r_2 = \text{const}$, получим:

$$\alpha_0 = \arccos \frac{l_1^2}{2 \cdot r_2}, \quad (2.8)$$

где l_1 – минимальное расстояние между роторами фрезы, м;

$$l_1 = 2r_k + \Delta_1 = d_k + \Delta_1, \quad (2.9)$$

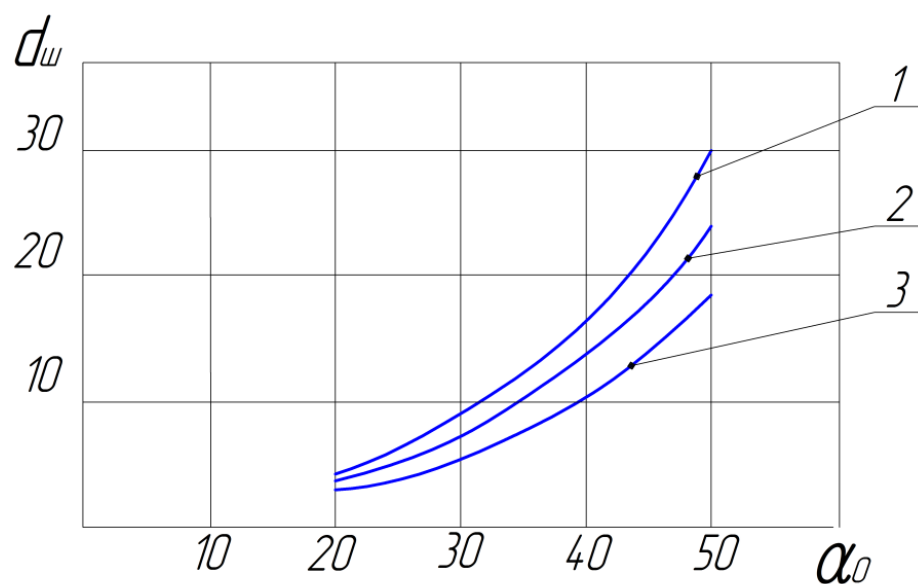
где Δ_1 – минимальный зазор между колесами, м; $r_2 = 0,5 \cdot (d_{\text{ш}} + d_k)$ – радиус окружности, где перемещаются центры фрезеров при повороте вокруг штамба, м.

С учетом данных параметров, выражение (2.8) принимает вид:

$$\alpha_0 = \arccos \frac{(d_k + \Delta_1)^2}{(d_{\text{ш}} + d_k)}. \quad (2.10)$$

Полученное выражение позволяет определить зависимость начального угла установки поворотной балки к линии ряда от диаметра штамба при различных значениях диаметров предохранительных колес (рис.2.3).

Из графика видно, что нелинейность изменения начального угла α_0 при увеличении диаметра штамба видно увеличение угла установки поворотной балки к линии ряда во всех случаях.



1- $d_k = 500\text{ мм}$; 2- $d_k = 400\text{ мм}$; 3- $d_k = 300\text{ мм}$.

Рисунок 2.3 – График зависимости угла установки поворотной фрезерной секции α_0 от диаметра предохранительных колес d_k

В процессе функционирования для полного фрезерования вокруг штамба необходимо, чтобы ротор 2'' в своем конечном положении геометрически совпал с начальным положением ротора 1 при соблюдении условия:

$$\beta_1 = 360^\circ - \beta_0. \quad (2.11)$$

Определим конструктивные параметры поворотной секции, варьирование которыми позволит обеспечить выполнение данного требования.

Для этого рассмотрим фрезу в положении, когда угол ψ_1 между линией движения агрегата и телескопической балкой будет:

$$\varepsilon_1 = \arcsin \frac{r_1 + l_3}{d_{\text{ш}}}, \quad (2.12)$$

где l_3 – длина телескопической балки $A'B'$, м.; ε_1 – максимальный угол, при котором еще сохраняется условие безотрывного перемещения агрегата (точка А) вдоль линии ряда, при дальнейшем увеличении которого нормального

протекания технологического процесса фрезерования вокруг штамба дерева не будет.

При перемещении фрезы роторы 1 и 2 будут фрезеровать площадь длиной $L = 2\pi r_2 / \beta_1'$ и радиуса r_p (рис. 2.2.). На площадках, заштрихованных крестообразно, роторы 1 и 2 будут работать по уже обработанным поверхностям (холостой ход). На залитых участках подрезаемости корней не будет.

$$\beta_1' = \gamma_0 + \gamma_1 + \gamma_2, \quad (2.13)$$

где γ_0 – начальный угол составляемый OO_2 с осью абсцисс, град;

Из равнобедренного треугольника O_1OO_2 :

$$\gamma_0 = 180^\circ - (180^\circ - 2\alpha_0) = 2\alpha_0, \quad (2.14)$$

γ_1 – угол, составляемый поворотным рычагом с осью абсцисс, град;

$$\gamma_1 = \arccos \frac{l_3}{r_1 + l_2}, \quad (2.15)$$

γ_2 – угол, составляемый OO_2' с осью поворотного рычага, град.

Из треугольника $OB'O_2'$

$$\gamma_2 = \arccos \frac{r_1^2 + r_2^2 - c^2}{2 \cdot r_1 \cdot r_2}, \quad (2.16)$$

где c – длина участка, определяющая безопасное расстояние между брусом и штамбом дерева, м.

Тогда, с учетом предыдущих выражений (2.14), (2.15) и (2.16), формула (2.13) примет вид:

$$\beta_1' = \arccos \left(\frac{d_k + 2e}{r + \frac{d_k}{2}} + \frac{l_3}{\sqrt{L} + l_2} + \frac{L + D^2 - e^2}{2D\sqrt{L}} \right), \quad (2.17)$$

$$\text{где } D = \frac{dk}{2} + r_{\text{ш}}, \quad L = (l_2 - l_3)^2 + (e \sin \alpha_0)^2.$$

Из рисунка 2.2 видно, что $\beta_1' \neq \beta$, поэтому, для обеспечения полного процесса обработки вокруг штамба, необходимо осуществить доворот секции вокруг штамба на величину β_1'' .

Таким образом, требуемое значение угла будет:

$$\beta_1 = \beta_1' + \beta_1'',$$

где β_1' - предполагаемый угол поворота роторов фрезы, град; β_1'' - угол доворота поворотной секции для обеспечения полной обработки за штаблом, град.

Как видно из выражения (2.17), величина угла β_1' , зависит от геометрии деталей и узлов поворотной секции фрезы.

Параметры d_k и α_0 , а также c и l_2 , определяются, исходя из необходимости полной обработки стороны за штаблом дерева.

Условием безопасного контакта поворотной фрезерной секции со штаблом дерева, будет:

$$c = \frac{\Delta_2 + 0,5d_{ш}}{\sin\alpha_0}, \quad (2.18)$$

где Δ_2 – величина требуемого зазора между телескопической балкой и штаблом дерева, м.

Для поворота фрезерной секции на величину β_2'' , приняли решение изготовить рычаг AB телескопическим (патент РФ № 214799).

Приведенное моделирование обхода штаба с применением программы Solid Works показало адекватность предложенной математической модели и высокую эффективность применения данного конструктивного исполнения при полном фрезеровании приствольного круга за один проход машинотракторного фрезерного агрегата.

После срабатывания сигнального щупа и контакта упругих отбойных колес со штаблом начинается поворот фрезерной секции (рис. 2.4).

Точка А, находящаяся за штаблом, в результате поворота принимает положение А'. Также второе упругое колесо (точка В) поворачивается и оказывается впереди штаба (точка В'). Следовательно, реализуется полное фрезерование почвы вокруг штаба при одном проходе.

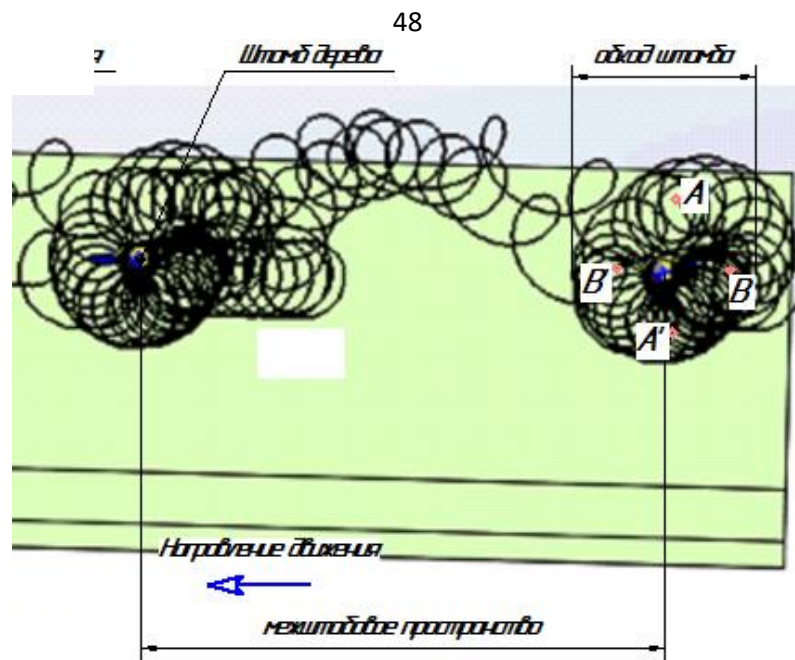


Рисунок 2.4 – Траектория движения ножей фрезы при обходе штамба дерева

2.2. Исследование кинематических параметров фрезерного рабочего органа при обходе штамба дерева

Кинематический анализ фрезерного рабочего органа, разработанной конструкции, проводится для обеспечения высокого качества выполнения технологического процесса в процессе обхода штамба. При проведении расчетов предполагается постоянство контакта упругих предохранительных колес со штамбом и равенство угловых скоростей роторов без учета скольжения.

Двухроторная фреза принимается как кривошипный коленно-рычажный плоский механизм, с осью относительного вращения кривошипа, находящегося на расстоянии $e = const$ (рис. 2.5).

Ведущим звеном является ползун A , ведомое звено 4 связано жестко с кривошипом OB .

Уравнения движения звена A будут иметь вид:

$$\begin{cases} x_A = V_A \cdot t - x_H, \\ y_A = e \end{cases}, \quad (2.19)$$

$$\varphi_1 = \omega_1 \cdot t; \quad (2.20)$$

где ω_1 – угловая скорость поворотного бруса, рад/с; φ_0 – начальный угол поворота оси фрезы 2, град.

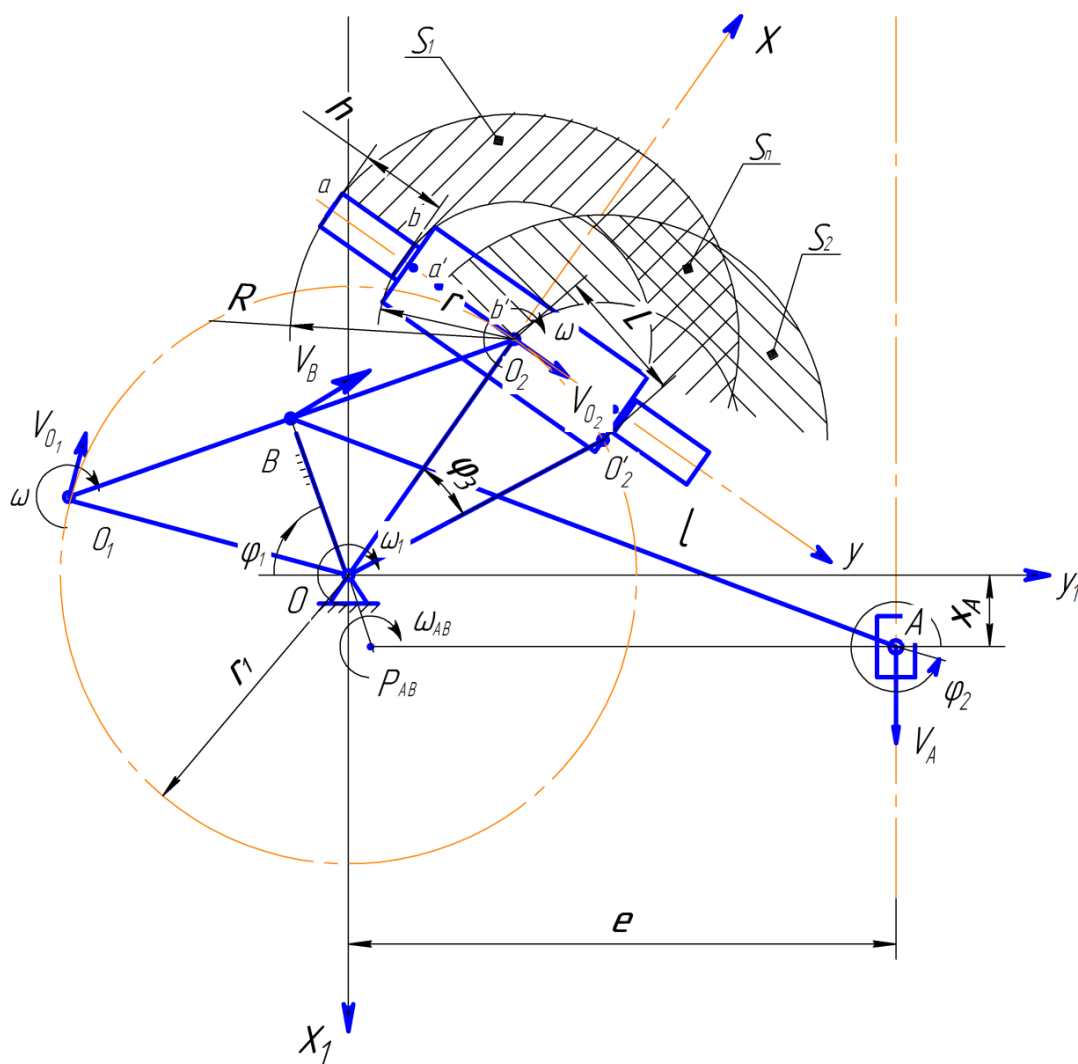


Рисунок 2.5 – Схема кинематики ножей фрезы при обходе вокруг штамба

Все точки ножа участвуют в сложном движении, в переносном вращательном движении центра ножа вокруг оси O_2 с угловой скоростью ω и относительном движении с угловой скоростью ω_1 .

Точка O является центром неподвижной системы координат Ox_1y_1 , а точка O_2 центром подвижной системы координат. Система координат O_2xu связана неизменно с ротором,

также вращается с ним с постоянной угловой скоростью ω_1 по окружности радиуса r_1 . В работах [72,109] площади, получаемые при повороте ножей принимают как дуги окружностей. В нашем случае из существенной разности угловых скоростей поворотной балки и самих роторов, длина дуги окружности будет равна $L = O_2O_2'$. Ножом ab фрезеруется площадка участка S_1 , далее нож $a'b'$ фрезерует площадь S_2 и при пересечении двух площадок получаем заштрихованную крестообразно площадь, показывающую повторную непроизводительную обработку. С учетом начальных условий, принимая, что центр фрезы O_2 перемещается в точку O_2' при повороте части кривошипа OO_2 на угол $\varphi_1 = \omega_1 t$, а центр самого фрезерного ротора также соответственно на угол $\varphi = \omega t$, нефрезеруемой площади не останется при условии:

$$x_a - x_b = h, \quad (2.22)$$

где h – длина L-образной части ножа, м.

Данное условие будет выполняться при равенстве длины ножа и длины дуги проходимого центром ротора фрезы по дуге окружности при повороте на угол φ .

$$L = h, \quad (2.23)$$

Режущая рабочая часть ножа cd повернется на угол:

$$\varphi = \omega \cdot t_p = \pi, \quad (2.24)$$

где t_p – время поворота, с.

Время поворота двухножевого ротора будет:

$$t_p = \frac{\pi}{\omega}, \quad (2.25)$$

где ω – угловая скорость ротора, c^{-1} .

Расстояние, проходимое центром ротора при обходе штамба:

$$L = r_2 \cdot \Delta\varphi_1 = r_2 \cdot \omega_1 t_c, \quad (2.26)$$

где $\Delta\varphi_1$ – угол поворота бруса, град; t_c – время поворота бруса, с; ω_1 – угловая скорость вращения поворотного бруса вокруг штамба, с^{-1} .

Тогда точка O_1 за время t_c будет находиться в положении O_1' :

$$t_c = \frac{L}{r_2 \omega_1}. \quad (2.27)$$

Соблюдается полная качественная обработка при условии:

$$t_p = t_c. \quad (2.28)$$

При совместном использовании уравнений (2.25) и (2.26) и (2.27) получим:

$$\frac{\pi}{\omega} = \frac{h}{r_2 \omega_1}. \quad (2.29)$$

В нашем случае получили уравнение, связывающее основные кинематические и геометрические параметры фрезы.

Полная обработка роторами зоны вокруг штамба будет при условии:

$$\omega_1 \leq \omega \frac{h}{\pi \cdot r_2}. \quad (2.30)$$

При заданных значениях радиуса ротора $r_2 = 0,2$ м и длине ножа $h=0,1$ м получим неравенство $\omega_1 \leq 0,16\omega$, при несоблюдении которого будут оставаться необработанные площади.

Окружная скорость точки B вокруг точки O со звеном 4, будет:

$$V_B = r_1 \cdot \omega_1, \quad (2.31)$$

где $r_1 = OB$ – радиус окружности точки B , м; ω_1 – угловая скорость вращения звена OB , рад/с.

В данном случае имеем плоскопараллельное движение механизма, в котором определяется мгновенный центр скоростей детали AB по известному методу из теоретической механики.

Скорость точки B будет:

$$V_B = V_A \frac{AP_{AB}}{BP_{AB}}, \quad (2.32)$$

где AP_{AB} и BP_{AB} – расстояния от точек детали A и B до мгновенного центра скоростей.

Угловая скорость вращения детали OB будет:

$$\omega_1 = \frac{V_B}{r_1} = \frac{V_A}{r_1} \cdot \frac{AP_{AB}}{BP_{AB}} \quad (2.33)$$

Расстояния BP_{AB} и AP_{AB} во взаимосвязи с x_A будут:

$$AP_{AB} = e - \frac{x_A}{\operatorname{tg} \varphi_1}; \quad (2.34)$$

$$BP_{AB} = r_1 - \frac{x_A}{\sin \varphi_1}, \quad (2.35)$$

где φ_1 – угол поворота звена OB .

Тогда с учетом (2.34) и (2.35) выражение (2.33) примет вид:

$$\omega_1 = \frac{V_A}{r_1} \cdot \frac{e - \frac{x_A}{\operatorname{tg} \varphi_1}}{r_1 - \frac{x_A}{\sin \varphi_1}}. \quad (2.36)$$

Зависимость параметра φ_1 от перемещения x_A получим проекцией OBA на оси OY и OX :

$$\left. \begin{aligned} r_1 \cos \varphi_1 + e - l \cos \varphi_2 &= 0 \\ r_2 \sin \varphi_1 + x_A - l \sin \varphi_2 &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (2.37)$$

где x_A – координата точки A относительно системы координат (центра ствола дерева), м; φ_2 – угол поворота звена AB , град; φ_1 – угол поворота звена OB , град.

Совместное решение уравнений (2.37) позволит получить:

$$\sin \varphi_2 = \frac{r_2 \sin \varphi_1 + x_A}{l}. \quad (2.38)$$

Из уравнения (2.37) получим:

$$\cos \varphi_2 = \sqrt{1 - \left(\frac{r_2 \sin \varphi_1 + x_A}{l} \right)^2} = \frac{1}{l} \sqrt{l^2 - (r_2 \sin \varphi_1 + x_A)^2}. \quad (2.39)$$

Подставляя выражение (2.38) в уравнение системы (2.37), имеем:

$$r_1 \cos \varphi_1 - \sqrt{l^2 - (r_1 \sin \varphi_1 + x_A)^2} + e = 0, \quad (2.40)$$

после

$$r_1 \cos \varphi_1 + e = \sqrt{l^2 - (r_1 \sin \varphi_1 + x_A)^2}. \quad (2.41)$$

После преобразования уравнения (2.41) получим:

$$2r_1 e \left(\cos \varphi_1 - \frac{x_A}{d} \sin \varphi_1 \right) = l^2 - r^2 - e^2 + x_A^2. \quad (2.42)$$

Из конструктивной схемы рис. 2.5 следует, что:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{x_A}{e}. \quad (2.43)$$

Уравнение (2.42) будет иметь вид:

$$2r_1 e (\cos \varphi_1 - \operatorname{tg} \alpha \sin \varphi_1) = l^2 - r^2 - e^2 + x_A^2. \quad (2.44)$$

После преобразования уравнение (2.44) примет вид:

$$\cos(\alpha + \varphi_1) = \frac{l^2 - r^2 - e^2 + x_A^2}{2r_1 e \sqrt{1 + \frac{x_A^2}{e^2}}}. \quad (2.45)$$

В окончательном варианте получаем уравнение для угла φ_1 поворота детали OB в зависимости от переменной x_A :

$$\varphi_1 = \operatorname{arctg} \frac{x_A}{e} + \arccos \frac{l^2 - r^2 - e^2 + x_A^2}{2r_1}. \quad (2.46)$$

Проведенный теоретический анализ кинематики рабочих органов фрезы при фрезеровании почвы вокруг штамба показывает, что выполнение фрезерования приштамбовой зоны зависит от параметров угловой скорости вращения фрезерных рабочих органов и угловой скорости вращения центра поворотной балки по отношению к штамбу, в условиях движения с трактором.

Теоретический анализ кинематических и технологических параметров разработанного фрезерного агрегата имеет следующие допустимые параметры:

- частота вращения роторов фрезы от 150 до 350 мин⁻¹;
- скорость поступательного движения двухроторной садовой фрезы от 2 до 6,0 км/ч.

2.3. Обоснование режима вращения ротора и расчет эксплуатационной мощности фрезы

Для определения потребной мощности предлагаемой фрезы используем методику, изложенную в работе Ф. М. Канарева [55].

Ножи ротора с вертикальной осью вращения действуют на почву по всей траектории их движения. Ввиду этого необходимо рассчитать режим вращения ротора, при котором исключается образование огрехов в работе и одновременно снижается распыление почвы.

Параметрические уравнения движения наиболее удаленной от оси вращения ротора точки М ножа имеют вид:

$$\begin{aligned} x &= v_n t + R \sin \omega t; \\ y &= R + R \cos \omega t. \end{aligned} \quad (2.47)$$

Здесь ωt отсчитывают от верхнего вертикального радиуса.

Поскольку при перекрытии траекторий соседних ножей увеличиваются затраты энергии на работу ротора и распыление почвы, а удаление траектории одного ножа от траектории другого приводит к образованию пропусков в их работе, то для решения поставленной задачи в первом приближении найдем параметр λ , при котором траектории соседних ножей касаются (рис. 2.6).

Для этого определим тангенс угла наклона вектора абсолютной скорости точки ножа к оси x . В точке М касания траекторий соседних ножей, вектор абсолютной скорости перпендикулярен к оси x , следовательно, в данном уравнении $\operatorname{tg} \alpha_x = \infty$. В этом случае согласно схемы, приведенной на рис. 2.6 и из соотношения геометрических параметров [119]:

$$\frac{2\pi R}{z\lambda} = 2R \sin \arccos \frac{1}{\lambda} - \frac{2R}{\lambda} \arccos \frac{1}{\lambda};$$

определяется число ножей по выражению:

$$z = \pi / \left(\lambda \sin \arccos \frac{1}{\lambda} - \arccos \frac{1}{\lambda} \right). \quad (2.48)$$

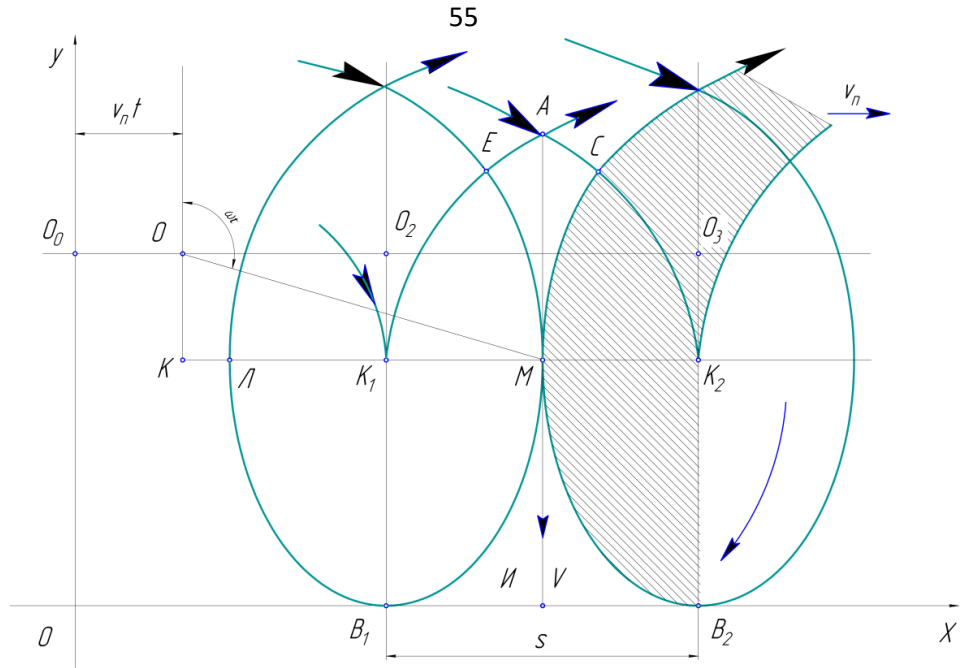


Рисунок 2.6 – Схема к определению режима вращения ротора

Длина крыла L образного ножа для полной фрезеровки внутри петли будет:

$$l_k = B_1 K_1 = R - \frac{R}{\lambda}. \quad (2.49)$$

Параметры и режимы работы роторов фрезы от длины EC показаны на рисунке 2.7.

Траектория CM как наиболее удаленной от центра ротора точки D_n ножа будет:

$$\begin{aligned} x_1 &= \rho \omega t_1 + R_1 \sin \omega t_1; \\ y_1 &= \rho + R \cos \omega t_1. \end{aligned} \quad (2.50)$$

Для определения координат точки C получим уравнения движения внутренней точки ножа. В данном случае мгновенный центр вращения перемещается по линии $K_1 K_2$ при том, что траектории CM и $K_1 C$ будут близки к траекториям окружностью радиуса $\rho = O_3 K_3$. Уравнения этой траектории при отсчете ωt_2 от вертикали по часовой стрелке примут вид:

$$\begin{aligned} x_2 &= v_0 O_2 + O_2 O_3 - \rho \cos(\omega t_2 - 0,5\pi) = \rho \pi + \rho \omega t_2 - \rho \sin \omega t_2; \\ y_2 &= \rho + \rho \sin[-(\omega t_2 + 0,5\pi)] = \rho - \rho \cos \omega t_2. \end{aligned} \quad (2.51)$$

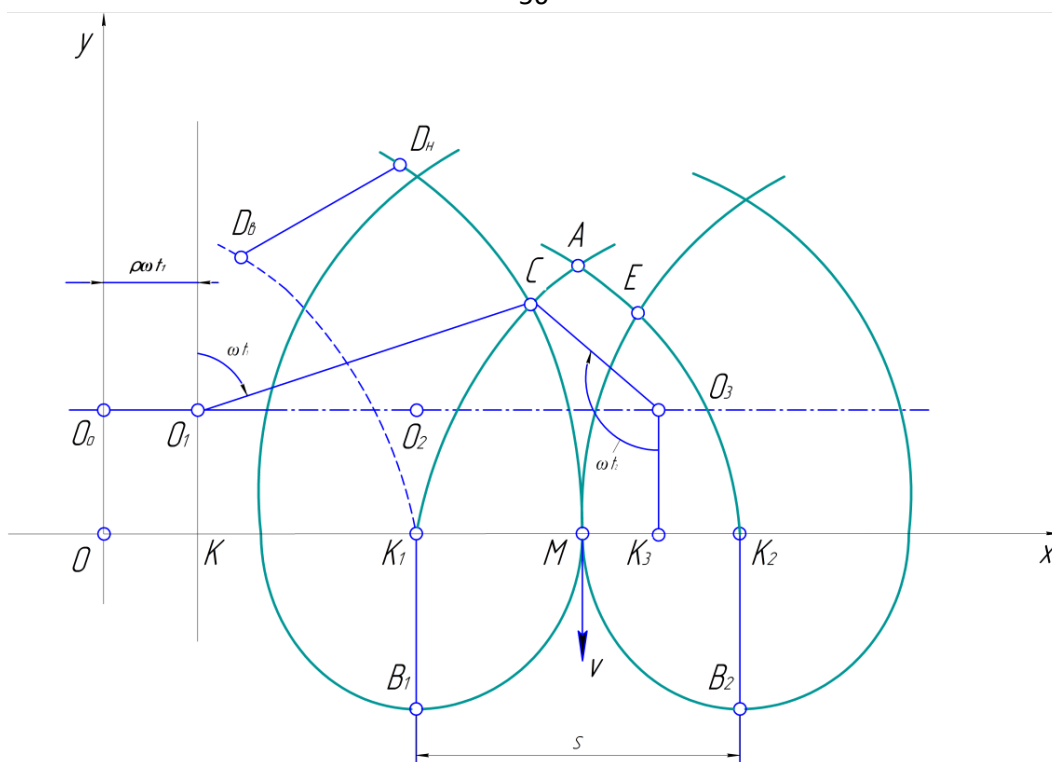


Рисунок 2.7 – Схема, исключающая пропуск работы ножей вертикального ротора

После приравнивания левых и правых частей уравнений (2.50) и (2.51), получим:

$$\rho\omega t_1 + R\sin\omega t_1 = \rho\pi + \rho\omega t_2 - \rho\sin\omega t_2 \quad (2.52)$$

$$R\sin\omega t_1 = -\rho\cos\omega t_2 \quad (2.53)$$

Далее определяя ωt_2 из уравнения (2.53) и после подстановки в уравнения (2.52) получим:

$$\rho\omega t_1 + R\sin\omega t_1 = \rho\pi + \rho\arccos(-\lambda\cos\omega t_1) - \rho\sin\arccos(-\lambda\cos\omega t_1). \quad (2.54)$$

Параметр ЕС находим из расчетной схемы (рис. 2.7):

$$EC = 2\pi\rho + s - 2\rho\omega t_1 - 2R\sin\omega t_1. \quad (2.55)$$

Для расчета конструкции фрезы основными параметрами являются радиус ротора и число ножей. Для функционирования ротора фрезы без огрехов, необходимо найти также кинематический параметр λ , определяющий касания

траектории соседних ножей [105,121]. Для нашего случая, при расчете принимаем количество L - образных ножей на каждом роторе, равное четырем.

Кинематический параметр, исключаяющий образование необработанных площадей длиной EC , при заданных параметрах R , z и λ будет:

$$\lambda_z = 2\pi R / [z(S_0 - EC)] \quad (2.56)$$

При радиусе ротора $R = 0,2$ м, минимальную длину крыла ножа для обработки всей площади внутри петли получим согласно выражению (2.49) [55] (рис. 2.6), $l_k = 0,105$ м., с учетом табличного значения параметра $\lambda = 2,11$ [55]. При этом подача на нож будет $S = 2\pi R / (z \lambda) = 0,15$ м.

Длина EC необработанной части полосы $AECM$ (см. рис. 2.6) получится равная $0,045$ м. Для исключения необработанных площадей размером $AECM$ при длине участка EC и обработке двумя ножами можно снизить подачу на $0,5 EC$.

В итоге будет $S = 0,15 - 0,017 = 0,133$ м. и уточнение кинематического параметра $\lambda = 2\pi R / (0,133 z) = 2,36$.

Для исключения огрехов при радиусе ротора $R = 0,2$ м. и количестве ножей, равном четырем минимальное значение параметра $\lambda > 2,36$. Длину крыла ножа l_k не меняем при том, что в окрестностях точки K (см. рис. 2.6) почва будет разрушаться в результате ударного импульса.

При заданных значениях основных параметров фрезы определим минимально потребную мощность при $R = 0,2$ м., $\lambda = 2,5$, $z = 4$, $l_k = 0,1$ м., приходящуюся на один ротор, для чего воспользуемся методикой, изложенной в работе [55]. Для расчета мощности необходимы параметры крутящего момента и угловой скорости. Так как количество ножей равно четырем, то траектории точки ножа соответствуют углам: $\omega t_1 = 0$, $\omega t_2 = 90^\circ$, $\omega t_3 = 180^\circ$, $\omega t_4 = 270^\circ$.

Для вертикальной проекции крыла ножа S_B получим соответственно [55]:

$$S_B = l_k b_k \sin \lambda_k. \quad (2.57)$$

где b_k и l_k – ширина и длина крыла ножа.

Тогда получим $b_k = 0,05$ м., $\lambda_k = 30^\circ$ и, имея в виду, что $l_k = 0,1$ м., получим $S_B = 0,0025$ м². Также, имея в виду, что фронтальная ширина b_c вертикальной стойки ножа равна $0,015$ м. при фрезеровании почвы на глубину $h = 0,1$ м., получаем фронтальную проекцию стойки $S_c = b_c h = 0,0015$ м².

Фронтальную проекцию крыла и стойки ножа определим по выражению [66]:

$$S_H = S_B \sin \alpha + S_c, \quad (2.57 \text{ а})$$

где α – угол атаки крыла ножа (рис.2.8); S_c – фронтальная проекция стойки ножа.

$$S_H = 0,0025 \sin \alpha + 0,0015 \text{ м}^2. \quad (2.58)$$

С учетом того, что удельное сопротивление почвы k_0 и, что реакция почвы направлена против вектора скорости точки M (рис. 2.8), определим проекции реакции почвы на нож по выражениям:

$$P_x = -\kappa_0 (S_B \sin \alpha + S_c) \cos \alpha_x; \quad (2.59)$$

$$P_y = -\kappa_0 (S_B \sin \alpha + S_c) \cos \alpha_y. \quad (2.60)$$

где $\cos \alpha_x$ и $\cos \alpha_y$ – направляющие косинусы вектора абсолютной скорости точки M , получаемые по выражениям:

$$\cos \alpha_x = \frac{1 + \lambda \cos \omega t}{\sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos \omega t}}; \quad \cos \alpha_y = \frac{-\lambda \sin \omega t}{\sqrt{1 + \lambda^2 - 2\lambda \cos \omega t}}. \quad (2.61)$$

Для расчетных точек определим проекцию S_H , используя выражения (2.58)

Вычислим для указанных точек угол α_y .

В нашем случае получим $\alpha_{y1} = 90^\circ$, $\alpha_{y2} = 22^\circ$, $\alpha_{y3} = 90^\circ$, $\alpha_{y4} = 22^\circ$.

Принимая угол $j = 50^\circ$, определим значения углов $\alpha = \alpha_y - j - \omega t$ [55] тогда: $\alpha_1 = 40^\circ$, $\alpha_2 = -118^\circ$, $\alpha_3 = -60^\circ$, $\alpha_4 = -298^\circ$.

Подставляя полученные значения углов атаки α крыла ножа в формулу (2.132), получим фронтальную проекцию ножа в расчетных точках, а именно: $S_{H1} = 0,0031$ м²; $S_{H2} = 0,0015$ м²; $S_{H3} = 0,0016$; $S_{H4} = 0,0031$ м².

Удельное сопротивление садовых почв меняется в среднем от 25 до 100 кН/м².

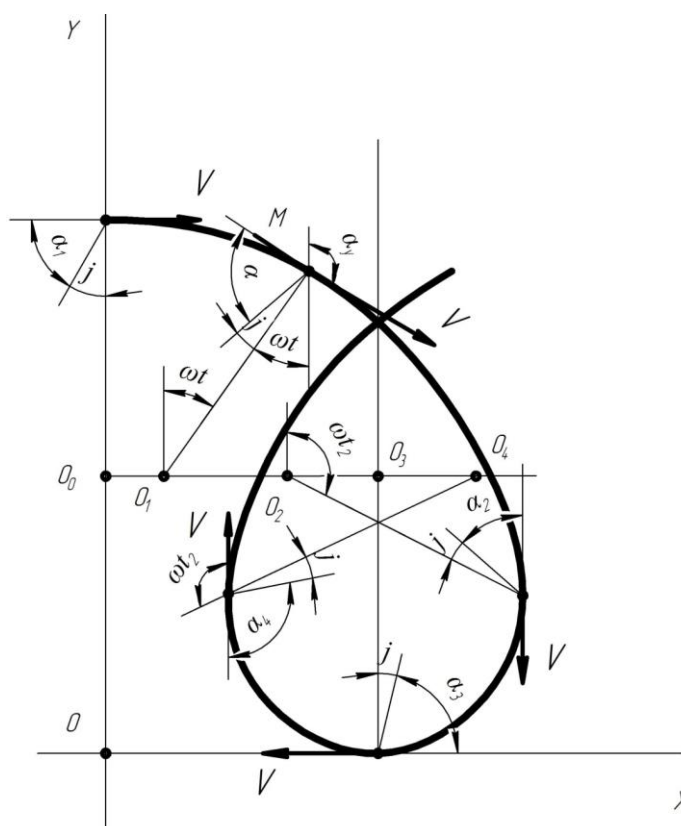


Рисунок 2.8 – Изменения угла атаки крыла ножа вертикального ротора

Принимаем для наших расчетов удельное сопротивление садовой почвы $R_0 = 100 \text{ кН/м}^2$ и определим результирующую реакцию по выражению:

$$P_{p.t.} = \sqrt{P_x^2 + P_y^2} = R_0(S_b \sin \alpha + S_c). \quad (2.62)$$

Результирующие реакции почвы на нож в расчетных точках будут: $P_{p.t1} = 0,31 \text{ кН}$; $P_{p.t2} = 0,15 \text{ кН}$; $P_{p.t3} = 0,16 \text{ кН}$; $P_{p.t4} = 0,31 \text{ кН}$.

Уравнение касательной к траектории точки М (рис.40) примет вид.

$$\frac{x_k - x}{\dot{x}} = \frac{y_k - y}{\dot{y}}. \quad (2.63)$$

Для вычисления расстояния от центров ротора до касательной к траектории ножа ось x переносится на линию движения центра ротора.

После подстановки в уравнение 2.63 координаты уравнений и их производных получим:

$$A_5 x_k + B_5 y_k + C_5 = 0.$$

где $A_5 = \lambda \sin \omega t$; $B_5 = 1 + \lambda \cos \omega t$; $C_5 = -R(\lambda + \cos \omega t + \sin \omega t)$.

Из схемы (рис. 2.9) следует, что $\psi = \alpha_y - 0,5\pi$.

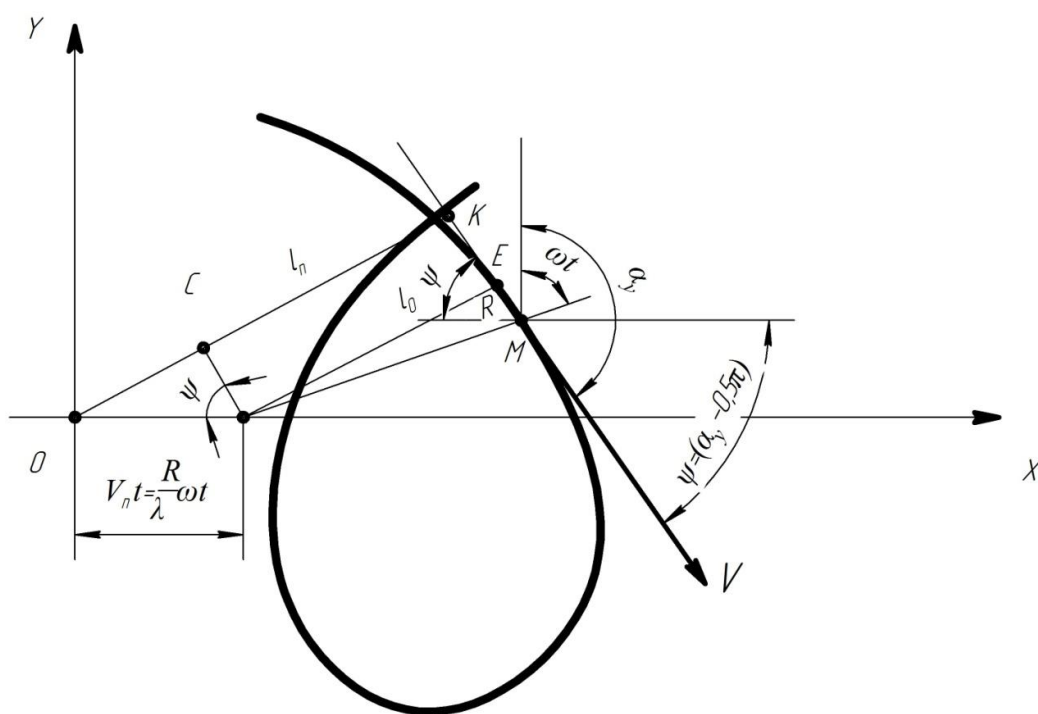


Рисунок 2.9 – Схема для расчета момента сопротивления почвы, действующего на вертикальный ротор

Так как линии СК и O_0E перпендикулярны к касательной, получим $l_0 = O_0E = CK = l_{\Pi} - OC$.

Треугольник OSO_0 прямоугольный, тогда получим:

$$OC = OO_0 \sin \psi = \frac{R}{\lambda} \omega t \sin \psi. \quad (2.64)$$

После подстановки значения угла ψ в выражение (2.64) и преобразований определим параметр l_0 (рис. 2.10), расстояние от оси ротора до ножа касательной к траектории в точке М по выражению:

$$l_0 = \frac{R(\lambda + \cos \omega t)}{\sqrt{1 + \lambda^2 + 2\lambda \cos \omega t}}. \quad (2.65)$$

Расчетные значения будут: $l_{01} = 0,2\text{м}$; $l_{02} = 0,18\text{м}$; $l_{03} = 0,2\text{м}$; $l_{04} = 0,18\text{м}$.

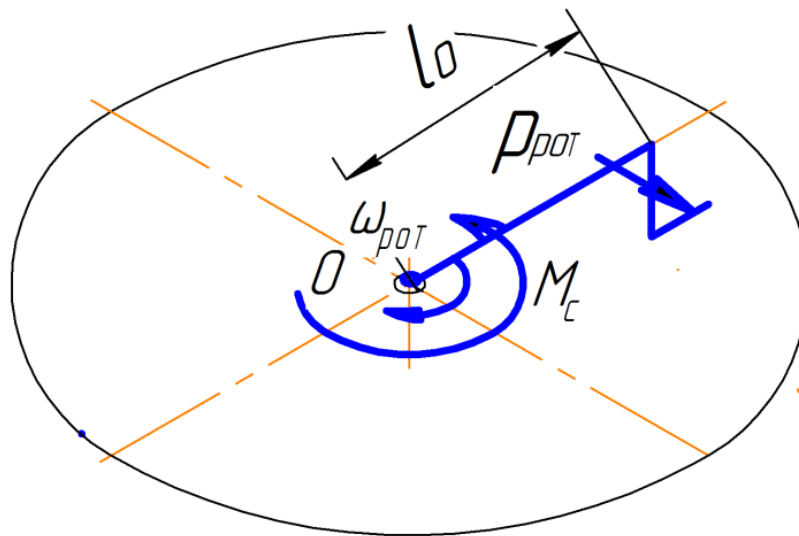


Рисунок 2.10 – Схема к расчету потребной мощности ротора

Моменты сил, действующих на ножи ротора, в расчетных точках определяем по формуле:

$$M_T = P_{p.t} l_0. \quad (2.66)$$

Так как на каждом роторе установлено по 4 ножа, то суммарный момент определяется простым сложением средних значений по каждой точке.

$$M_{T1} = 0,062 \text{ кН} \cdot \text{м}; M_{T2} = 0,027 \text{ кН} \cdot \text{м}; M_{T3} = 0,032 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{T4} = 0,0558 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

$$M_c = M_{T1} + M_{T2} + \dots + M_{Tz}.$$

Тогда суммарный момент M_c сопротивления почвы, действующий на вал ротора, $M_c = 0.1768 \text{ кН} \cdot \text{м}$.

Поступательная скорость агрегата составляет 3,6 км/ч.

При этом минимально необходимая частота вращения ротора будет:

$$\omega = \frac{V_n \lambda}{R} = \frac{(1 \cdot 3)}{0.2} = 15 \text{ рад/с}.$$

Следовательно, мощность, реализуемая ротором, согласно формуле (2.66):

$$N_p = \omega M_c. \quad (2.67)$$

будет равна $N_p = \omega M_c = 2,65$ кВт.

Следовательно, для предлагаемой двухроторной фрезы при обработке почв с удельным сопротивлением до 100 кН/м^2 при скорости агрегата, равной $3,6 \text{ км/ч}$, минимальная расчетная потребная мощность составляет $5,3 \text{ кВт}$. При этом надо отметить, что в реальных условиях функционирования фрезерных рабочих органов для надежного обеспечения технологического процесса подрезания корней сорняков и крошения почвы, необходимо заложить в расчетах повышенную потребную мощность и соответственно частоту вращения ротора фрезы.

2.4. Исследование сил взаимодействия фрезерных секции со штамбом дерева при его обходе

Теоретическое исследование процесса взаимодействия предохранительных колес роторов при обходе штамба позволит дополнить основные конструктивно-технологические параметры функционирования двухроторной фрезы.

Проведем теоретические исследования физических параметров в виде сил и моментов при взаимодействии поворотной фрезерной секции со штамбом при его обходе (рис. 2.11).

В данном случае имеется система сил: нормальные составляющие сил N_1 и N_2 , появляющиеся при контакте предохранительных колес со штамбом, приложенные в соответствующих точках контакта упругих колес со штамбом, а также возникающие силы трения $F_{тр1}$, $F_{тр2}$, также моменты сопротивления, имеющие место при вращении колес M_{c1} и M_{c2} , моменты M_1 , M_2 от сил упругости $F_{упр1}$ и $F_{упр2}$ пружин 1 и 2, входящих в конструкцию фрезы и моменты от сил реакции почвы при работе [112,137,138].

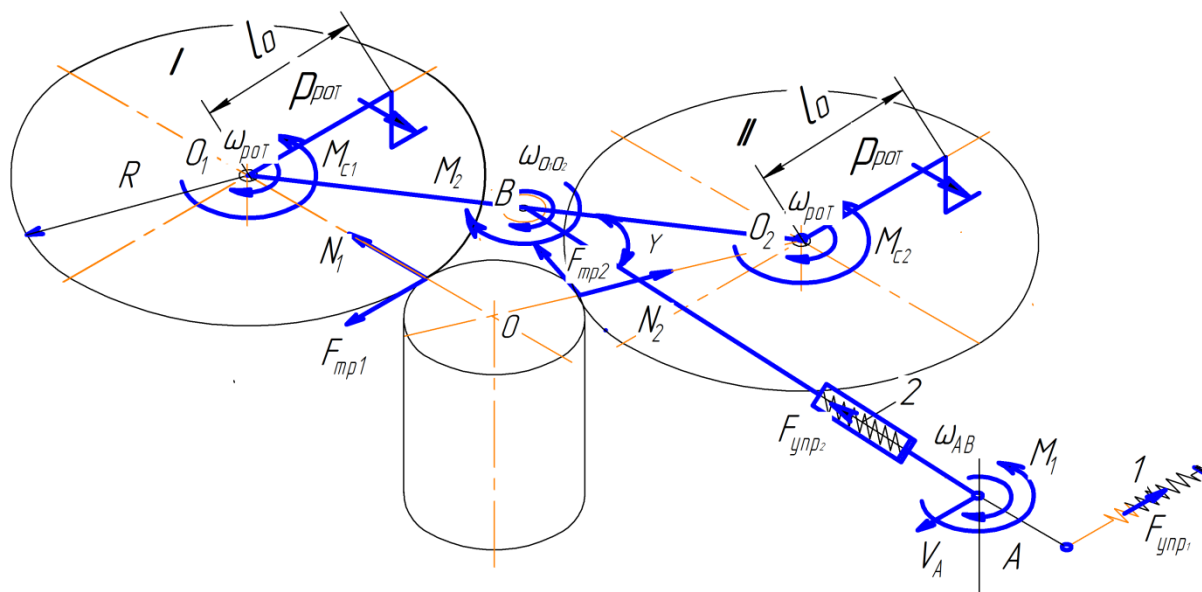


Рисунок 2.11 – Расчетная силовая схема двухроторной фрезы при взаимодействии со штаблом

Значения $N_p \neq 0$, это условие безотрывности упругих колес, при котором они все время будут касаться штабла. Также важно соблюдение условия неповреждения коры штабла, то есть допускаемые рабочие значения давления на кору не должны превышать.

Данное условие будет:

$$N_{\min} \leq N_p \leq N_{\text{доп}}, \quad (2.68)$$

где $N_{\min}$ – значения минимальной нормальной составляющей реакции штабла, обеспечивающей перекатывание по штаблу предохранительных колес, Н; $N_{\text{доп}}$ – максимальное допустимое значение нормальной реакции штабла, не повреждающее кору дерева, Н.

Перекатывание предохранительных колес по коре штабла без скольжения возможно, при появлении сил трения $F_{\text{тр}}$:

$$|F_{\text{тр}i}| \leq N_i f_{\text{тр}}, \quad (2.69)$$

где $f_{\text{тр}}$ – коэффициент трения.

Необходимо обеспечить условие, при котором каждое из колес 1 и 2 прижимается к штамбу с силой, при котором реакция штамба $N_i > 0$.

Прижимная сила предохранительных колес к коре штамба в процессе их обхода будет обеспечиваться за счет сил упругости пружин сжатия, находящихся в телескопической стойке 2.

Механизм, обеспечивающий возврат поворотной фрезерной секции в исходное положение, работает от сил реакции обрабатываемой почвы, возникающих в процессе вращения роторов фрезы. При обходе фрезерной секцией штамба дерева сила упругости $F_{упр2}$ пружины сжатия, находящаяся в телескопической стойке прижимает предохранительные колеса к коре штамба.

Реакция от штамба дерева, появляющиеся при работе фрезерного рабочего органа, также создает вращающий момент M_2 , который все время стремится повернуть брус по часовой стрелке.

Вращающий момент, возникающий от взаимодействия ножей фрезы с почвой в виде момента сопротивления, будет:

$$M_2 = P_{рт} \cdot l_0, \quad (2.70)$$

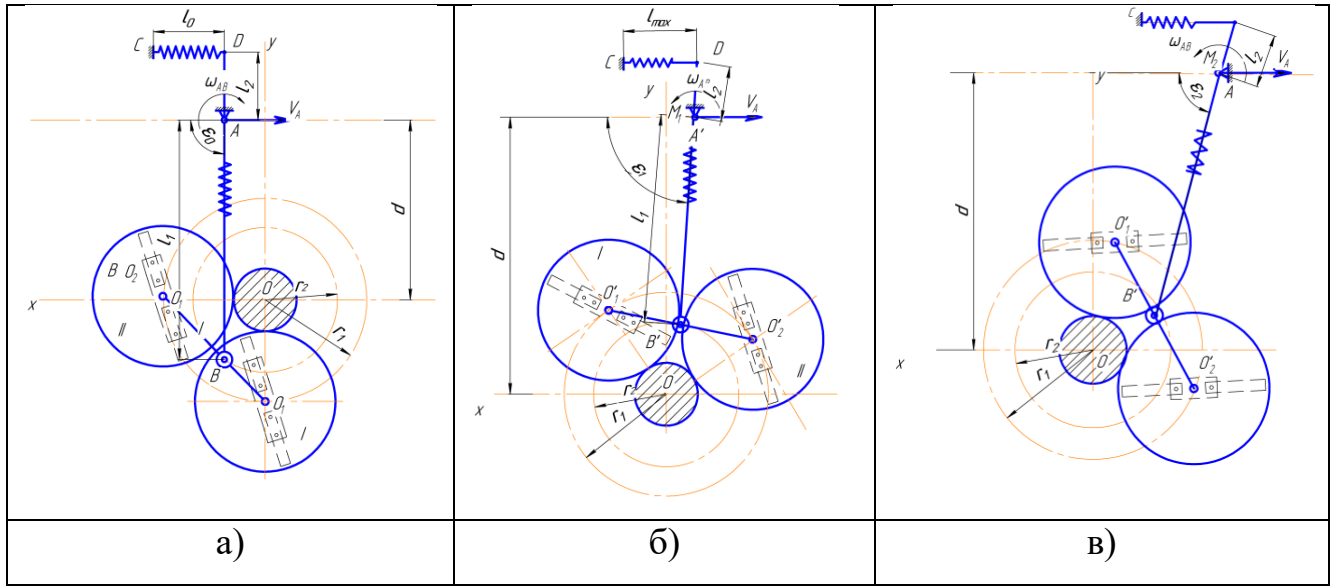
где l_0 – радиус расположения ножей, м; $P_{рт}$ – сила сопротивления при резании почвы, приходящаяся на нож ротора.

Знак момента M_2 остается постоянной до конца обхода штамба.

Функционирование двухроторной фрезы при обходе штамба делится на два этапа.

Начальный этап (рисунок 2.12а) наступает после контакта сигнального щупа с корой дерева, и начало поворота фрезерной секции от действия сил реакции почвы.

Данный этап предусматривает отклонение телескопической несущей балки на небольшой расчетный угол по дуге в пределах от $\varepsilon_0 = 90^\circ$ до $\varepsilon_1 = \arcsin(d - r_2)/l_1$. В нашем случае для полного обхода секции фрезы вокруг штамба необходимый угол поворота телескопической балки составляет $\varepsilon_1 = 30$. Максимальное отклонение составляет не более 40° .



а) в начале контакта со штамбом; б) переходное положение; в) в конце обхода штамба

Рисунок 2.12 – Положения роторов двухроторной фрезы

На начальном этапе поворотная секция представляется как балка на двух опорах по отношению к штамбу для всех положений и нормальные составляющие сил N_1 , N_2 определяются из уравнения моментов (рис. 2.13). В нашем исполнении геометрические параметры двух роторов равны.

Направления линии действия силы P_1 и P_2 изменяются при вращении вокруг центра O , также меняются их положения относительно оси поворотной фрезерной секции (угол ϑ). Уравнения моментов на начальном этапе:

$$\sum M_{i_{o1}} = 0; -P_1 \sin \vartheta \cdot e - M_2 + N_2 \cdot h + P_2 \sin(90 - \vartheta) \cdot e = 0; \quad (2.71)$$

$$\sum M_{i_{o2}} = 0; P_1 \sin \vartheta \cdot e - M_2 - N_1 \cdot h - P_2 \sin(90 - \vartheta) \cdot e = 0, \quad (2.72)$$

где $P_2 = c_2 \cdot \Delta l_2$ – сила упругости пружины сжатия в телескопической несущей балке прижимающей упругие колеса к штамбу при повороте вокруг штамба; $P_1 = \frac{c_1 \cdot \Delta l_3 \cdot l_2 \sin \gamma_1}{l_1}$ – сила, прижимающая предохранительные колеса к штамбу в начале контакта со штамбом.

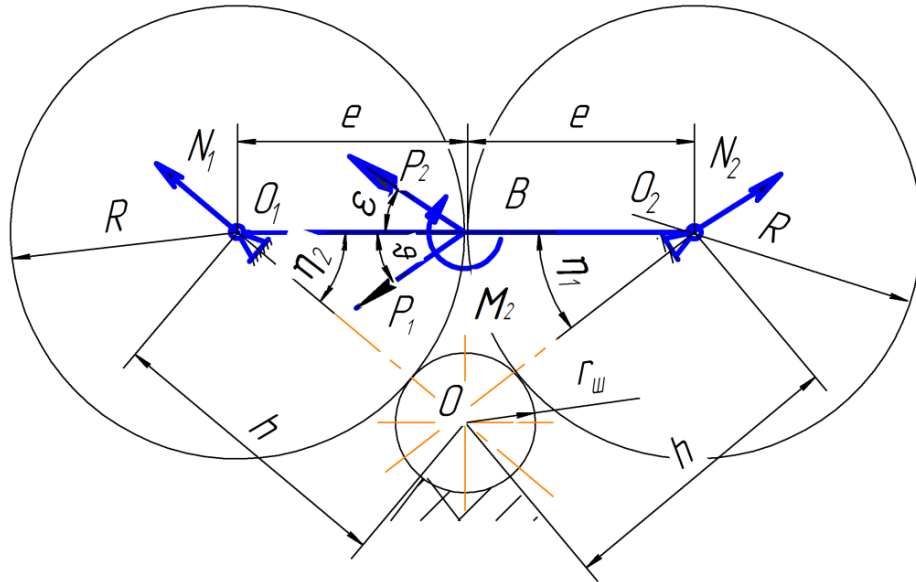


Рисунок 2.13 – Расчетная схема на начальном этапе

Рассмотрим параметры сил на штабб:

$$N_2 = \frac{P_1 \sin \vartheta \cdot e + M_2 - P_2 \sin(90 - \vartheta) \cdot e}{h}; \quad (2.73)$$

$$N_1 = \frac{P_1 \sin \vartheta \cdot e - M_2 - P_2 \sin(90 - \vartheta) \cdot e}{h}, \quad (2.74)$$

где ϑ – угол, между направлением действующей силы P_1 , град; e , – расстояние от центров роторов 1 и 2 до оси телескопической несущей балки, м; h – расстояние до нормальных сил N_1 и N_2 соответственно, м.

$$h = 2e \sin \eta, \quad (2.75)$$

здесь η – значение углов между осью фрезерной секцией и линиями от центра колес со штаббом, рад.

После подстановки результатов в (2.71) и (2.72) получим значение сил давления для каждого колеса:

$$N_1 = \frac{\frac{c_1 \cdot \Delta l_3 \cdot l_2 \sin \gamma_1}{l_1} \sin \vartheta \cdot e - M_2 - c_2 \cdot \Delta l_2 \sin(90 - \vartheta) \cdot e}{h}; \quad (2.76)$$

$$N_2 = \frac{\frac{c_1 \cdot \Delta l_3 \cdot l_2 \sin \gamma_1}{l_1} \sin \vartheta \cdot e + M_2 - c_2 \cdot \Delta l_2 \sin(90 - \vartheta) \cdot e}{h}. \quad (2.77)$$

Полученные выражения показывают, что для начального этапа условия постоянного контакта предохранительных колес со штамбом соблюдены. Выражения (2.76) и (2.77) показывают, что силы давления колес на штамб дерева зависят от коэффициентов жесткости пружин, находящихся в конструкции фрезы и геометрических параметров фрезы, а также постоянного момента от сил сопротивления почвы. В соответствии с существующими агротехническими требованиями допустимое контактное давление на кору дерева составляет 0,4-0,9 МПа [68,108]. Величина контактного давления, создаваемое предохранительными колесами, зависят от сил (N_1, N_2) и площади контакта до ($S = 6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$).

График, показывающий зависимости силы давления предохранительных колес на штамб от угла поворота фрезерной секции и коэффициента жесткости пружины сжатия телескопической балки, представлен на рисунке 2.14.

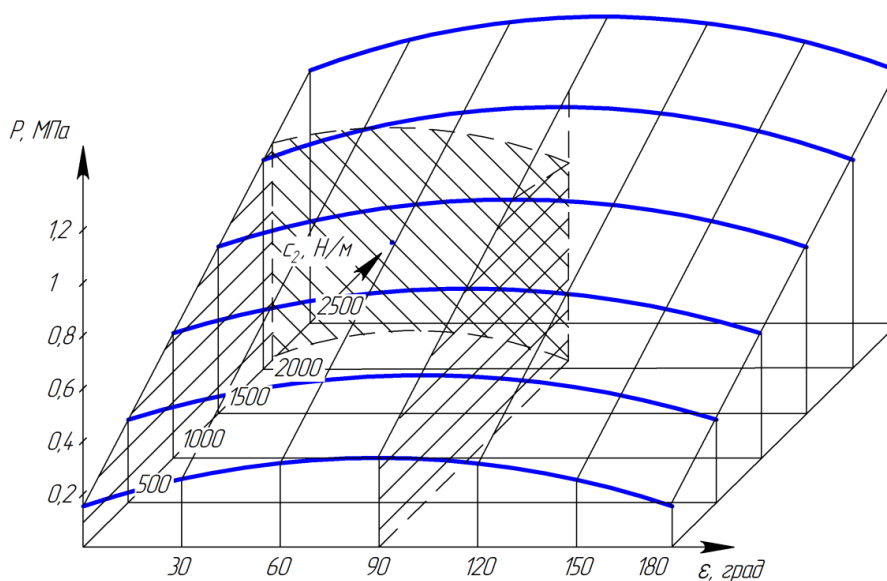


Рисунок 2.14 – График зависимости силы давления на штамб, от угла поворота бруса фрезерных роторов и коэффициента жесткости пружины сжатия телескопической балки c_2

Из графика следует, что при обходе штамба увеличивается коэффициент жесткости пружины сжатия телескопической балки и при положительном угле поворота секции, значения силы давления на штамб существенно возрастает.

Заштрихованная зона показывает предельно допустимые значения контактных давлений на штабл дерева.

График, показывающий зависимость силы давления предохранительных колес на штабл от угла поворота фрезерной секции и коэффициента жесткости возвратной пружины балки, работающей на растяжение, представлена на рисунке 2.15. Данный график показывает, что при обходе штабла увеличивается также коэффициент жесткости возвратной пружины растяжения телескопической балки и при положительном угле поворота секции, значения силы давления на штабл существенно возрастает. Заштрихованная часть показывает зону допустимых значений контактных давлений на штабл.

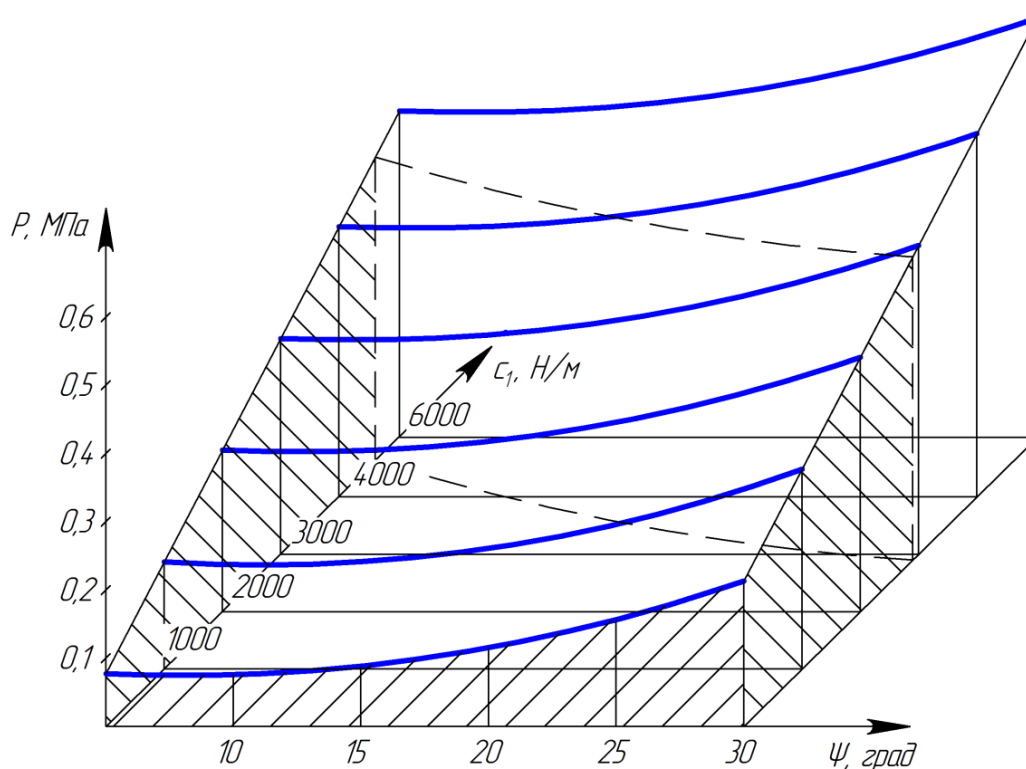


Рисунок 2.15 – График зависимости силы давления на штабл дерева, от угла поворота телескопической балки и коэффициента жесткости возвратной пружины c_1

Используя полученные выражения 2.76 и 2.77 и после подстановки значений допустимых контактных давлений на кору штабла, определен коэффициент жесткости составной пружины сжатия в телескопической стойке - $c_2 \leq 1750$ Н/м.

В начале перехода секции к завершающему этапу (рисунок 2.12,б) телескопическая балка начинает небольшой поворот в сторону движения агрегата под действием пружины растяжения с жесткостью c_1 .

Также роторный поворотный брус проворачивается для обхода штамба по дуге окружности от действия сил реакции почвы. Угол поворота телескопической балки находится в пределах от ε_1 до $\varepsilon_2 = \arcsin d/(r_2 + l_1)$, предотвращающих отрыв предохранительных колес от коры штамба (рис. 2.12, в).

Условия постоянного касания предохранительных колес со штамбом дерева обеспечим, используя методику расчета на основе принципа возможных перемещений. Определим значения N_2 как оказывающее наибольшее давление на штамп при его обходе (рис. 2.16).

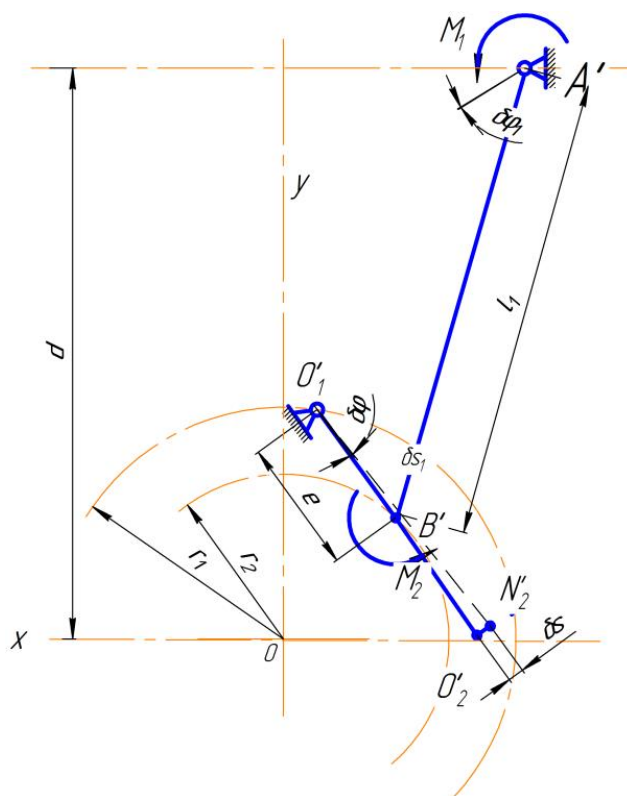


Рисунок 2.16 – Расчетная схема сил в конце обхода штамба

Для опоры в точке O'_2 представим в виде ползуна на направляющих, скрепленного жестко с балкой $O'_1O'_2$. Далее сообщим системе возможное малое перемещение ползуна δs .

Выражая возможное перемещение δs_1 через углы поворота $\delta\varphi$ звена $O'_1O'_2$ и $\delta\varphi_1$ звена $A'B'$, определим соотношение между ними:

$$\delta s = 2e\delta\varphi; \quad (2.78)$$

$$\delta s_1 = l_1 \cdot \delta\varphi_1.$$

откуда

$$\delta\varphi_1 = e/l_1 \cdot \delta\varphi. \quad (2.79)$$

Уравнение работ с учетом (2.78) и (2.79) будет:

$$2N'_2 e\delta\varphi + M_2\delta\varphi - M_1 e/l_1 \cdot \delta\varphi = 0. \quad (2.80)$$

Далее получим:

$$N'_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{M_1}{l_1} - \frac{M_2}{e} \right). \quad (2.81)$$

Используя условие безотрывности упругих колес на возможных перемещениях, получим $N'_2 > 0$, то есть

$$\frac{1}{2} \left(\frac{M_1}{l_1} - \frac{M_2}{e} \right) > 0. \quad (2.82)$$

С учетом моментов M_1 и M_2 получим:

$$\frac{1}{2} \left(\frac{c_1 \cdot \Delta l_3 \cdot l_2 \sin \gamma_1}{l_1} \sin \vartheta \cdot e - \frac{P_{\text{рт}} \cdot l_0}{e} \right) > 0.$$

Данное выражение показывает, что при заданных параметрах пружин сжатия, а также момента сопротивления роторов фрезы и геометрии поворотного бруса, имеет место постоянство контакта предохранительных колес со штамбом.

2.5. Исследование динамики конструкции фрезы в процессе обхода штамба дерева

Двухроторная фреза для обработки приствольной зоны является сложной механической системой, детали и узлы которой в рядовых условиях функционирования, находятся под действием больших динамических нагрузок. Следовательно, возникает также необходимость в исследовании динамики механической

системы при совместной работе двух роторов, влияющих на прочность и долговечность, как деталей конструкции, так и их соединений.

На рисунке 2.17 представлена структурная схема разработанной нами фрезы, представленная четырьмя звеньями [14,15].

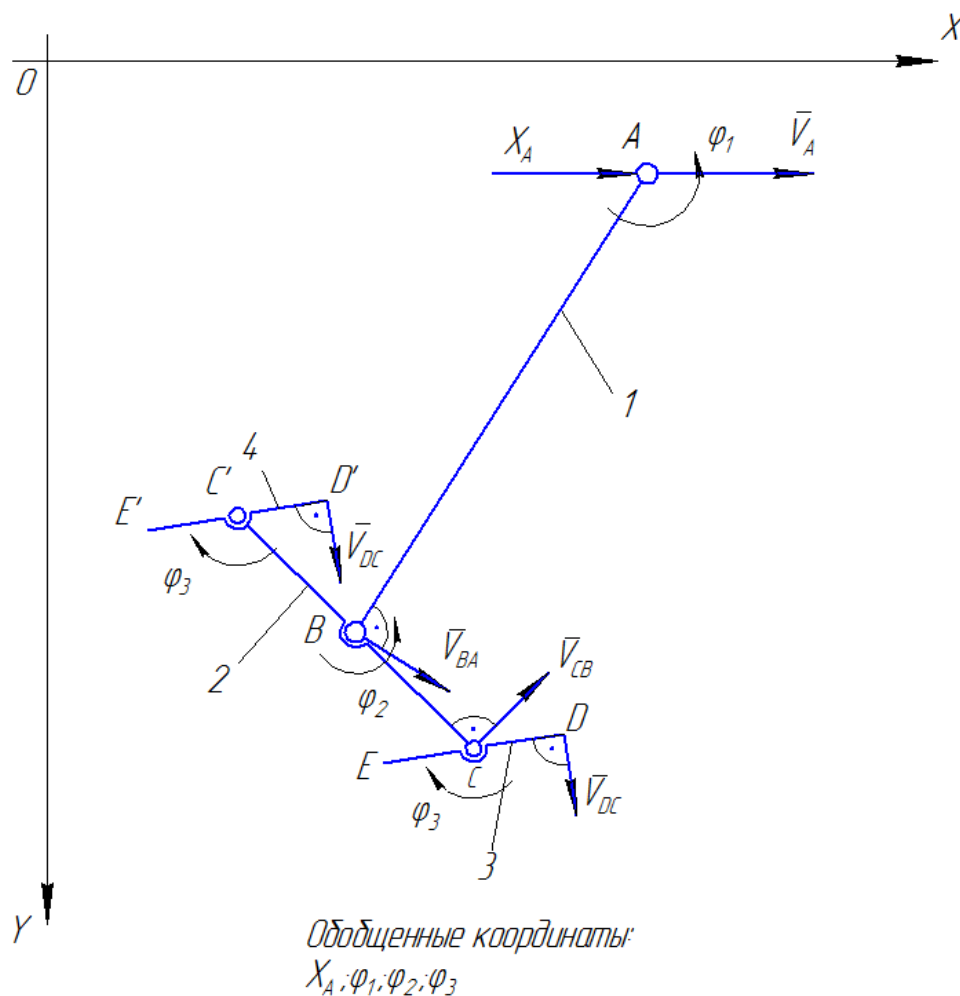


Рисунок 2.17 – Структурная схема двухроторной фрезы

Первое звено представляет собой шарнирное соединение с подвеской трактора при одновременном движении по небольшой дуге окружности относительно шарнира A . Второе звено также соединено с первым в точке B и совершает плоскопараллельное движение. Третье звено шарнирно соединено со звеном 2 (в точках C и C') и также совершает плоскопараллельное движение.

В любой момент времени местоположение звена 3 (ротора) в горизонтальной плоскости определяется четырьмя координатами независимыми друг от друга x , φ_1 , φ_2 и φ_3 .

Следовательно, механическая система имеет четыре степени свободы, подчиненная голономным и идеальным связям. В нашем случае для звена 3 необходимо составить четыре уравнения Лагранжа [148]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{X}_A} \right) - \left(\frac{\partial T}{\partial X_A} \right) = Q; \quad (2.83)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_1} \right) - \left(\frac{\partial T}{\partial \varphi_1} \right) = Q_1; \quad (2.84)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_2} \right) - \left(\frac{\partial T}{\partial \varphi_2} \right) = Q_2; \quad (2.85)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_3} \right) - \left(\frac{\partial T}{\partial \varphi_3} \right) = Q_3. \quad (2.86)$$

где T – составляющая кинетической энергии системы; X_A , φ_{1-3} – обобщенные координаты системы; $\dot{X}_A$, $\dot{\varphi}_{1-3}$ – обобщенные скорости; Q , Q_{1-3} – обобщенные силы системы.

Кинетическая энергия данной системы может быть представлена в виде [138]:

$$T_{\text{мех}} = T_1 + T_2 + T_3, \quad (2.87)$$

где T_1 , T_2 и T_3 – кинетические энергии звеньев входящих в данную механическую систему.

В нашем случае звено АВ совершает плоскопараллельное движение.

Кинетическая энергию звена 1 будет:

$$T_1 = \frac{m_1 \cdot V_A^2}{2} + I_1 \cdot \frac{\omega_{BA}^2}{2}, \quad (2.88)$$

где ω_{BA} – обобщенная угловая скорость звена 1 $\dot{\varphi}_1 = \frac{d\varphi_1}{dt}$; V_A – обобщенная поступательная скорость звена 1 $\dot{X}_A = \frac{dX_A}{dt}$;

Тогда получим:

$$T_1 = \frac{m_1 \cdot \dot{X}_A^2}{2} + I_1 \cdot \frac{\dot{\phi}_1^2}{2}, \quad (2.89)$$

где $I_1 = \frac{m_1 \cdot l_1^2}{3}$ – момент инерции кг м².

С учетом этого:

$$T_1 = \frac{m_1}{2} \left(\dot{X}_A^2 + \frac{AB^2 \cdot \dot{\phi}_1^2}{3} \right). \quad (2.90)$$

Звено 2 участвует в плоскопараллельном движении вместе со звеном АВ с переносной скоростью $\vec{V}_B$ и совершает также вращательное движение с угловой скоростью (ω_{BC}) по отношению к точке В [137,138]. Также звено ВС совершает плоское движение и кинетическая энергия звена 2 будет:

$$T_2 = \frac{m_2 \cdot V_B^2}{2} + I_2 \cdot \frac{\omega_{BC}^2}{2}, \quad (2.91)$$

где ω_{BC} – обобщенная угловая скорость звена 2 $\dot{\phi}_2 = \frac{d\phi_2}{dt}$.

В нашем случае точка В звена АВ будет совершать сложное движение (рис. 2.18).

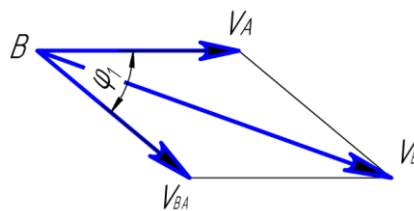


Рисунок 2.18 – Расчетная схема для точки В

Тогда абсолютная скорость точки В из векторного выражения:

$$\vec{V}_B = \vec{V}_A + \vec{V}_{BA}. \quad (2.92)$$

Скорость V_B получаем из уравнения:

$$V_B^2 = V_A^2 + V_{BA}^2 + 2 \cdot V_A \cdot V_{BA} \cos(90 - \phi_1). \quad (2.93)$$

Так как $\cos(90^\circ - \phi) = \sin \phi$, получим:

$$V_B^2 = V_A^2 + V_{BA}^2 + 2 \cdot V_A \cdot V_{BA} \sin \phi_1, \quad (2.94)$$

где φ_1 – обобщенная координата.

Тогда получим:

$$T_2 = \frac{m_2 \cdot V_B^2}{2} + I_2 \cdot \frac{\dot{\varphi}_2^2}{2}, \quad (2.95)$$

где $I_2 = \frac{m_2 \cdot l_2^2}{12}$ – момент инерции звена.

Звено ВС можно также представить как однородный стержень, тогда кинетическая энергия данного звена будет:

$$T_2 = \frac{m_2}{2} \left(V_B^2 + \frac{BC^2 \cdot \dot{\varphi}_2^2}{12} \right). \quad (2.96)$$

Используя подстановку (2.82) в (2.84) и что $V_{BA} = \omega_{BA} \cdot BA = \dot{\varphi}_1 \cdot BA$, получим:

$$T_2 = \frac{m_2}{2} \left[\dot{X}_A^2 + (\dot{\varphi}_1 \cdot BA)^2 + 2 \cdot \dot{X}_A \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot BA \cdot \sin \varphi_1 + \frac{BC^2 \cdot \dot{\varphi}_2^2}{12} \right]. \quad (2.97)$$

Далее рассмотрим движение звена 3 как и предыдущих двух звеньев, которые перемещаются вместе со звеном ВС с переносной скоростью $\vec{V}_C$ и совершающий вращательное движение с угловой скоростью (ω_{CD}) относительно точки С в горизонтальной плоскости. Тогда звено CD совершает плоское движение и кинетическая энергия этого звена 3 будет:

$$T_3 = \frac{m_3 \cdot V_C^2}{2} + I_3 \cdot \frac{\omega_{CD}^2}{2}, \quad (2.98)$$

где $I_3 = \frac{m_3 \cdot l_3^2}{12}$ – момент инерции звена.

Тогда

$$T_3 = \frac{m_3 \cdot V_C^2}{2} + \frac{m_3 \cdot l_3^2}{12} \cdot \frac{\omega_{CD}^2}{2}. \quad (2.99)$$

Следовательно, точка С совершает сложное движение (рис. 2.19).

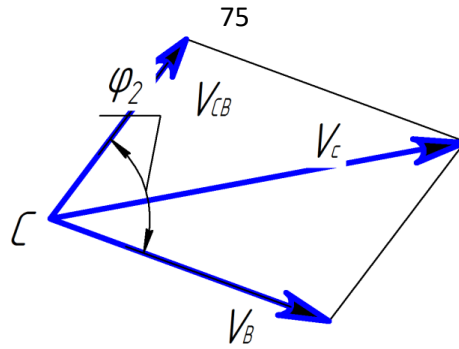


Рисунок 2.19 – Расчетная схема скорости точки C

Абсолютная скорость для точки C определим с помощью векторного выражения:

$$\vec{V}_C = \vec{V}_B + \vec{V}_{CB} . \quad (2.100)$$

Параметр скорости V_C находится из уравнения:

$$V_C^2 = V_B^2 + V_{CB}^2 + 2 \cdot V_B \cdot V_{CB} \cdot \cos \varphi_2, \quad (2.101)$$

где φ_3 – параметр обобщенной координаты на данный момент времени.

$$V_B^2 = V_A^2 + V_{BA}^2 + 2 \cdot V_A \cdot V_{BA} \sin \varphi_1 ; \quad V_C^2 = V_B^2 + V_{CB}^2 + 2 \cdot V_B \cdot V_{CB} \cdot \cos \varphi_2.$$

При условии что $V_{CB} = \omega_{BC} \cdot BC = \dot{\varphi}_2 \cdot BC$, получаем также выражение для скорости точки C:

$$V_C^2 = \dot{X}_A^2 + \dot{\varphi}_1^2 \cdot BA^2 + 2\dot{X}_A \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot BA \sin \varphi_1 + \dot{\varphi}_2^2 \cdot BC^2 + \\ + 2 \left(\sqrt{\dot{X}_A^2 + \dot{\varphi}_1^2 \cdot BA^2 + 2\dot{X}_A \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot BA \cdot \sin \varphi_1} \right) \cdot \dot{\varphi}_2 \cdot BC \cdot \cos \varphi_2 . \quad (2.102)$$

Так как звено CD принимается как однородный стержень то с учетом его момента инерции, выражение (2.102) принимает вид:

$$T_3 = \frac{m_3}{2} \left(V_C^2 + \frac{CD^2 \cdot \dot{\varphi}_3^2}{12} \right). \quad (2.103)$$

После подстановки (2.90) в (2.91) с учетом того, что $V_{CB} = \omega_{BC} \cdot BC = \dot{\varphi}_2 \cdot BC$, получим:

$$T_3 = \frac{m_3}{2} \left[\dot{X}_A^2 + \dot{\varphi}_1^2 \cdot BA^2 + 2\dot{X}_A \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot BA \cdot \sin \varphi_1 + \dot{\varphi}_2^2 \cdot BC^2 + \right.$$

$$+2 \left(\sqrt{\dot{X}_A^2 + \dot{\varphi}_1^2 \cdot BA^2 + 2\dot{X}_A \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot BA \cdot \sin \varphi_1} \right) \cdot \dot{\varphi}_2 \cdot BC \cdot \cos \varphi_2 \frac{CD^2 \cdot \dot{\varphi}_3^2}{12} \Big] \quad ..(2.104)$$

Следовательно, исходное выражение (2.87) для определения общей кинетической энергии вертикальной фрезы принимает вид:

$$T_{\text{мех}} = \frac{m_1}{2} \left(\dot{X}_A^2 + \frac{AB^2 \cdot \dot{\varphi}_1^2}{3} \right) + \frac{m_2}{2} \left[\dot{X}_A^2 + (\dot{\varphi}_1 \cdot AB)^2 + 2 \cdot \dot{X}_A \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot BA \cdot \sin \varphi_1 + \frac{BC^2 \cdot \dot{\varphi}_2^2}{12} \right] + \frac{m_3}{2} \cdot \left[\dot{X}_A^2 + (\dot{\varphi}_1 \cdot BA)^2 + 2 \cdot \dot{X}_A \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot BA \cdot \sin \varphi_1 + \dot{\varphi}_2^2 \cdot BC^2 + +2 \cdot \sqrt{(\dot{X}_A^2 + (\dot{\varphi}_1 \cdot BA)^2 + 2 \cdot \dot{X}_A \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot BA \cdot \sin \varphi_1)} \cdot \dot{\varphi}_2 \cdot BC \cdot \cos \varphi_2 + \frac{CD^2 \cdot \dot{\varphi}_3^2}{12} \right]. \quad (2.105)$$

Частные производные в соответствующих уравнениях (2.83...2.86):

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{X}_A} = (m_1 + m_2 + m_3) \cdot \dot{X}_A + (m_2 + m_3) \cdot BA \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot \sin \varphi_1 + +m_3 \cdot \left(\frac{(\dot{X}_A + \dot{\varphi}_1 \cdot BA \cdot \sin \varphi_1) \cdot \dot{\varphi}_2 \cdot BC \cdot \cos \varphi_2}{\sqrt{(\dot{X}_A^2 + (\dot{\varphi}_1 \cdot BA)^2 + 2 \cdot \dot{X}_A \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot BA \cdot \sin \varphi_1)}} \right); \quad (2.106)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_1} = \left(\frac{m_1}{3} + m_2 + m_3 \right) \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot BA^2 + (m_2 + m_3) \cdot BA \cdot \dot{X}_A \cdot \sin \varphi_1 + +m_3 \cdot \left(\frac{(\dot{\varphi}_1 \cdot BA^2 + \dot{X}_A \cdot BA \cdot \sin \varphi_1) \cdot \dot{\varphi}_2 \cdot BC \cdot \cos \varphi_2}{\sqrt{(\dot{X}_A^2 + (\dot{\varphi}_1 \cdot BA)^2 + 2 \cdot \dot{X}_A \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot BA \cdot \sin \varphi_1)}} \right); \quad (2.107)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_2} = \left(\frac{m_2}{12} + m_3 \right) \cdot \dot{\varphi}_2 \cdot BC^2 + +m_3 \cdot \left(\sqrt{(\dot{X}_A^2 + (\dot{\varphi}_1 \cdot BA)^2 + 2 \cdot \dot{X}_A \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot BA \cdot \sin \varphi_1)} \cdot BC \cdot \cos \varphi_2 \right); \quad (2.108)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_3} = \frac{m_3 \cdot CD^2 \cdot \dot{\varphi}_3}{12}; \quad (2.109)$$

$$\frac{\partial T}{\partial X_A} = 0; \quad (2.110) \quad \frac{\partial T}{\partial \varphi_1} =$$

$$(m_2 + m_3) \cdot BA \cdot \dot{X}_A \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot \cos \varphi_1 + m_3 \cdot \left(\frac{\dot{X}_A \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot BA \cdot \cos \varphi_1}{\sqrt{(\dot{X}_A^2 + (\dot{\varphi}_1 \cdot BA)^2 + 2 \cdot \dot{X}_A \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot BA \cdot \sin \varphi_1)}} \right) \quad (2.111)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi_2} = -m_3 \cdot \left(\sqrt{(\dot{X}_A^2 + (\dot{\varphi}_1 \cdot BA)^2 + 2 \cdot \dot{X}_A \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot BA \cdot \sin \varphi_1)} \cdot BC \cdot \sin \varphi_2 \right); \quad (2.112)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_3} = 0. \quad (2.113)$$

Подставив значения параметров уравнений (2.95...2.102) в уравнения (2.106...2.112), а также после введения коэффициентов K_1 , K_2 и K_3 (приложение 14) и преобразований, получим в виде:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{X}_A} \right) - \frac{\partial T}{\partial X_A} = (m_1 + m_2 + m_3) \cdot \ddot{X}_A + (m_2 + m_3) \cdot BA \cdot (\ddot{\varphi}_1 \cdot \cos \varphi_1 - \dot{\varphi}_1^2 \cdot \sin \varphi_1) + m_3 \cdot K_1 = Q; \quad (2.114)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_1} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi_1} = \left(\frac{m_1}{12} + m_2 + m_3 \right) \cdot \ddot{\varphi}_1 \cdot BA^2 + (m_2 + m_3) \cdot BA \cdot (\ddot{X}_A \cdot \cos \varphi_1 - \dot{X}_A \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot \sin \varphi_1) + m_3 \cdot K_2 = Q_1; \quad (2.115)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_2} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi_2} = (m_2 + m_3) \cdot \ddot{\varphi}_2 \cdot BC^2 + m_3 \cdot K_3 = Q_2; \quad (2.116)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_3} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi_3} = \frac{m_3 \cdot CD^2 \cdot \ddot{\varphi}_3}{3} = Q_3. \quad (2.117)$$

Выражения (2.114...2.117) это математическая модель данной системы в виде уравнений Лагранжа II-го рода с четырьмя степенями свободы применительно к предложенной фрезе.

Введем обозначения для упрощения расчетов:

$$m_1 + m_2 + m_3 = a; \quad (2.118)$$

$$(m_2 + m_3) \cdot BA = b; \quad (2.119)$$

$$\left(\frac{m_1}{12} + m_2 + m_3 \right) \cdot BA^2 = c; \quad (2.120)$$

$$(m_2 + m_3) \cdot BC^2 = d; \quad (2.121)$$

$$f = \frac{m_3 \cdot l_3^2}{3}. \quad (2.122)$$

После подстановки (2.118...2.122) в (2.114...2.117) получим систему дифференциальных уравнений:

$$a \cdot \ddot{X}_A + b \cdot (\ddot{\varphi}_1 \cdot \cos \varphi_1 - \dot{\varphi}_1^2 \cdot \sin \varphi_1) + m_3 \cdot K_1 = Q; \quad (2.123)$$

$$c \cdot \ddot{\varphi}_1 + b \cdot (\ddot{X}_A \cdot \cos \varphi_1 - \dot{X}_A \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot \sin \varphi_1) + m_3 \cdot K_2 = Q_1; \quad (2.124)$$

$$d \cdot \ddot{\varphi}_2 + m_3 \cdot K_3 = Q_2; \quad (2.125)$$

$$f \cdot \ddot{\varphi}_3 = Q_3. \quad (2.126)$$

Расчет обобщенных сил Q необходим, чтобы придать системе элементарные перемещения δq_i соответственно по каждой координате δx_A , $\delta \varphi_1$, $\delta \varphi_2$, $\delta \varphi_3$. (рис. 2.20).

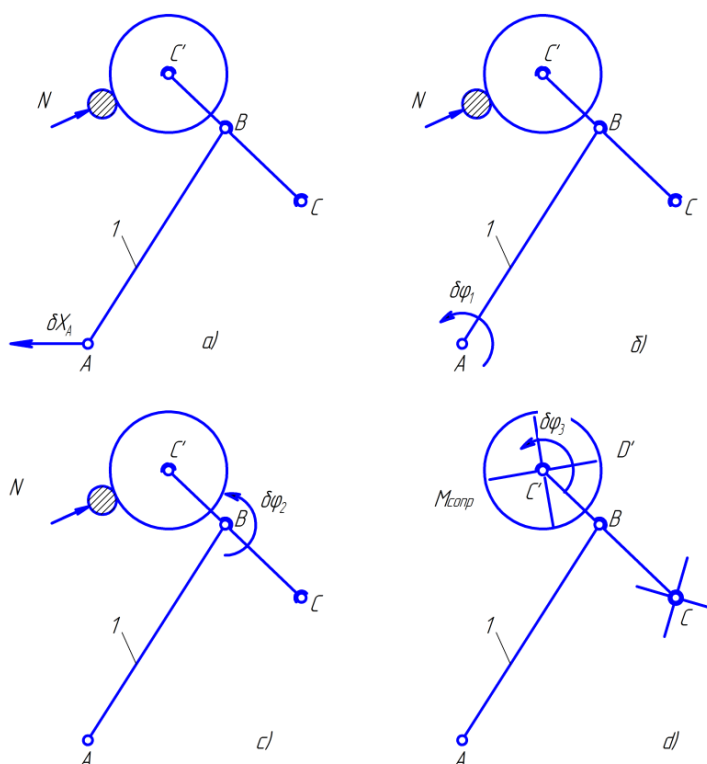


Рисунок 2.20 – Схема обобщенных сил Q_i

При сообщении данной системе элементарного перемещения $\delta x_A \neq 0$ при начальных условиях $\delta \varphi_i = 0$ и $\delta \varphi_i \neq 0$ при $\delta x_A = 0$ для вариантов (а и б) при срабатывании сигнального щупа и контакте предохранительного колеса со штамбом $N = R$ обобщенные силы Q и Q_1 будут равны однозначно нормальному давлению. Вариант (с) наступает при условии косания колеса штамба дерева при $N = R + F_{\text{упр}}$ тогда обобщенная сила будет

$$Q_2 = R + F_{\text{упр}},$$

где $F_{\text{упр}} = c \cdot \Delta S$ – суммарное значение силы упругости пружин сжатия.

При случае (д) контакта колеса со штамбом не происходит и максимальное значение силы Q_3 , приводится к силе сопротивления при обработке $F_{\text{фрез}}$.

Для практического применения полученной системы уравнений (2.123...2.126) необходимо получить возможные значения коэффициентов K_{1-3} , для чего вводятся некоторые обозначения для упрощения:

$$K_i = \frac{P-Q-G}{W}, \quad (2.127)$$

где

$$P = 2 \cdot AB \cdot BC \cdot x^2 \cdot y \cdot \cos\varphi_1 \cdot \cos\varphi_2 \cdot (z^2 + (x \cdot BA)^2 + 2 \cdot z \cdot x \cdot BA \cdot \cos\varphi_1). \quad (2.128)$$

$$Q = 2 \cdot (z + AB \cdot x \cdot \sin\varphi_1) \cdot y^2 \cdot BC \cdot \sin\varphi_2 \cdot (z^2 + (x \cdot BA)^2 + 2 \cdot z \cdot x \cdot BA \cdot \cos\varphi_1). \quad (2.129)$$

$$G = (z + AB \cdot x \cdot \sin\varphi_1) \cdot z \cdot y \cdot x^2 \cdot AB \cdot BC \cdot \cos\varphi_1 \cdot \sin\varphi_1. \quad (2.130)$$

$$W = (z^2 + (x \cdot BA)^2 + 2 \cdot z \cdot x \cdot BA \cdot \cos\varphi_1)^{3/2}. \quad (2.131)$$

После подстановки предварительных конструктивных параметров фрезы в выражения (2.127...2.131) получением кинематические параметры предлагаемой двухроторной фрезы (Приложения XI и XII).

Необходимо отметить, что коэффициенты K_i , присутствующие в уравнениях (2.123...2.126), не выше 0,03. Тогда дифференциальные уравнения будут:

$$a \cdot \ddot{X}_A + b \cdot (\ddot{\varphi}_1 \cdot \cos\varphi_1 - \dot{\varphi}_1^2 \cdot \sin\varphi_1) = N; \quad (2.132)$$

$$c \cdot \ddot{\varphi}_1 + b \cdot (\ddot{X}_A \cdot \cos\varphi_1 - \dot{X}_A \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot \sin\varphi_1) = N; \quad (2.133)$$

$$d \cdot \ddot{\varphi}_2 = N + C \cdot l \cdot \varphi_2; \quad (2.134)$$

$$f \cdot \ddot{\varphi}_3 = F_{\text{рез п.}} \quad (2.135)$$

где N – значения нормальной силы давления предохранительного колеса на штамп, Н; C – приведенный коэффициент упругости пружин, входящих в систему, Н/м; l – приведенная длина звеньев 2, м.

Введём обозначения:

$$\frac{b}{a} = A; \quad \frac{b}{c} = B; \quad \frac{N}{a} = D; \quad \frac{N}{c} = R; \quad (2.136)$$

Подставив уравнения (2.94) в (2.90) и (2.91), имеем:

$$\begin{cases} \ddot{X}_A + A \cdot \ddot{\varphi}_1 \cdot \cos\varphi_1 - A \cdot \dot{\varphi}_1^2 \cdot \sin\varphi_1 = D \\ \ddot{\varphi}_1 + B \cdot \ddot{X}_A \cdot \cos\varphi_1 - B \cdot \dot{X}_A \cdot \dot{\varphi}_1 \cdot \sin\varphi_1 = R \end{cases}. \quad (2.137)$$

После дальнейших преобразований получим конечные решения системы дифференциальных уравнений 2.137 в виде:

$$(1 - A \cdot B) \cdot \frac{2}{\sqrt{R^2 - D^2 \cdot B^2}} \cdot \arctg \left(\sqrt{R^2 - D^2 \cdot B^2} \cdot tg \cdot \frac{\frac{\varphi_1}{2}}{(R - D \cdot B)} \right) + \frac{A}{D} \cdot \left\{ |\sin \varphi_1| - \frac{R}{D \cdot B} \cdot \varphi_1 + \frac{\sqrt{R^2 - D^2 \cdot B^2}}{|D \cdot B|} \cdot \left[\frac{\pi}{2} - \arcsin \cdot \left(\frac{D^2 \cdot B^2 - R^2}{D \cdot B (D \cdot B \cdot \cos \varphi_1 - R)} - \frac{R}{D \cdot B} \right) \right] \right\} = t^2 / 2. \quad (2.138)$$

Данное выражение представляет собой зависимость $\varphi_1(t)$.

Далее:

$$X_A = \varphi_1 + N \cdot t^2 \cdot \frac{(\frac{m_1}{12} + m_2 + m_3) \cdot BA^2 - m_1 + m_2 + m_3}{2 \cdot (m_1 + m_2 + m_3) \cdot (\frac{m_1}{12} + m_2 + m_3) \cdot BA^2}. \quad (2.139)$$

Тогда получим:

$$\varphi_2 = \frac{N}{2 \cdot C \cdot l} \cdot e^{-\sqrt{\frac{C \cdot l}{d}} \tau} \cdot (e^{\sqrt{\frac{C \cdot l}{d}} \tau} - 1)^2. \quad (2.140)$$

Уравнение движения звена 3:

$$\varphi_3 = 1.5 \cdot \frac{F_{рез \pi}}{m_3 \cdot l_3^2} \cdot \tau^2. \quad (2.141)$$

В результате проведенного кинематического исследования механизма с имеющей 4 степени свободы получили математическую модель механизма в виде 4 уравнений его движения (2.138 ... 2.141), допускающую изменение параметров массы и геометрии звеньев, позволяющие рассчитывать траектории и скорости деталей и звеньев. Можно также определить суммарную жесткость всех упругих узлов и механизмов данной фрезы, а также усилие резания почвы при обработке.

2.6. Обоснование метода и расчет динамической устойчивости ротора фрезы

Для значительного повышения надежности двухроторной садовой фрезы важно обеспечить динамическую устойчивость его вращающихся узлов и деталей. Динамические нагрузки, возникающие из-за вращения узлов, существенно сокращают срок службы опор валов и, передаваясь по силовой цепи, могут привести к разрушению ответственных соединений. Это также затрагивает и рабочие вра-

щающиеся элементы. Существующие методы расчета не обеспечивают точных результатов при определении параметров вынужденных колебаний, что связано с допущенными упрощениями (например, предполагается вал с постоянной жесткостью, не учитывается распределенная по длине масса вала и так далее). В некоторых случаях расчеты становятся громоздкими, а для более сложных систем отсутствуют формулы для расчета [23 и др.]. Мы предлагаем новый метод расчета вынужденных колебаний сложного ротора, основанный на синтезе методов кинестатики и начальных параметров. Данный подход позволяет учесть все индивидуальные особенности сложного ротора. Метод включает: распределение массы вала, переменную жесткость, упругое зажатие в опорах, массу установленных дисков, их гироскопические свойства, эксцентricность посадки дисков и сосредоточенные внешние нагрузки. Каждый переходный участок загружается однообразно (рис.2.21).

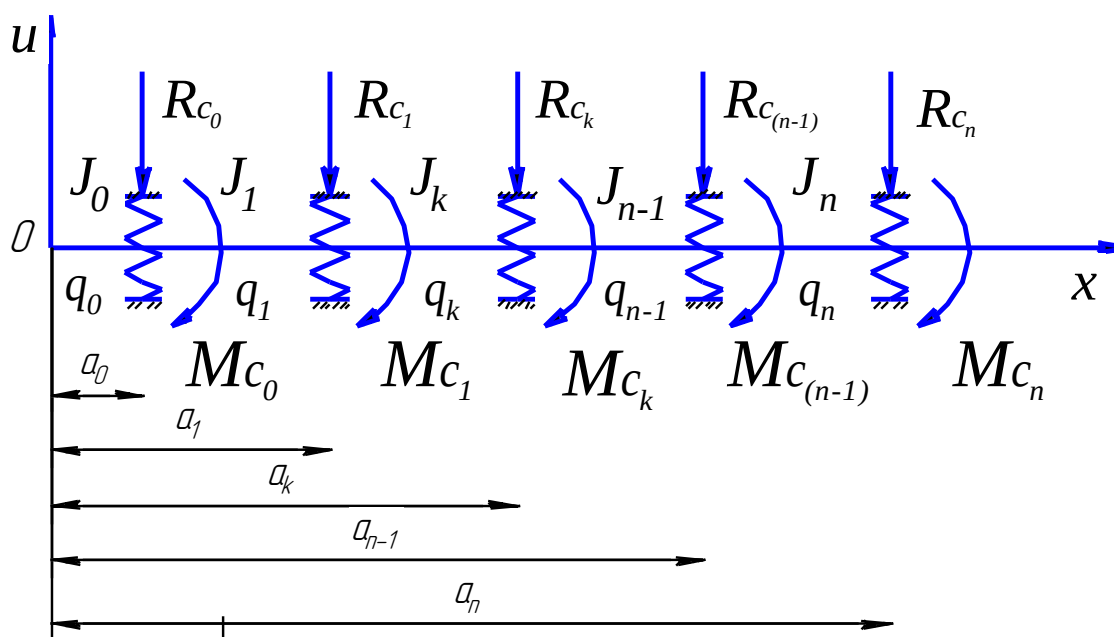


Рисунок 2.21 – Расчетная схема ротора

Для дифференциального уравнения упругой линии i -го участка вращающегося ротора при условии, что масса ротора на этом участке равномерно распределена по длине, формулировка будет следующей:

$$\frac{d^4 u_i(x)}{dx^4} - k_i^4 u_i(x) = 0, \quad (2.142)$$

где $a_i \leq x \leq a_{i+1} \quad k_i^4 = \frac{\gamma F_i \omega^2}{g E I_i}$

γ – удельный вес материала ротора; F_i – площадь поперечного сечения i -го участка ротора; ω – угловая скорость вращения ротора; g – ускорение свободного падения; E – модуль упругости материала ротора; I_i – момент инерции поперечного сечения i -го участка ротора.

Общее решение уравнения (2.142) записывается в виде:

$$u_i(x) = A_i S[k_i(x - a_i)] + B_i T[k_i(x - a_i)] + C_i U[k_i(x - a_i)] + D_i V[k_i(x - a_i)], \quad (2.143)$$

Обозначив $[k_i(x - a_i)] = y$, а параметры A_i , B_i , C_i и D_i – произвольные постоянные; S , T , U и V – функции А.Н. Крылова [29], $S(y) = 0,5(ch y + \cos y)$; $T(y) = 0,5(sh y + \sin y)$; $U(y) = 0,5(ch y - \cos y)$; $V(y) = 0,5(sh y - \sin y)$.

Функции S , T , U и V обладают следующими свойствами:

$$S(0) = 1, \quad T(0) = U(0) = V(0) = 0, \quad (a)$$

$$S'(y_i) = V(y_i); \quad T'(y_i) = S(y_i); \quad U'(y_i) = T(y_i) \quad \text{и} \quad V'(y_i) = U(y_i). \quad (б)$$

Дифференцируя уравнение (2.139) по x с учетом свойств (б) получим производные через первообразные функции А.Н. Крылова [29].

При $x = a_i$, аргументы функций обращаются в нули. Исходя из этого, получим:

$$A_i = u_i(a_i); \quad B_i = \frac{u'_i(a_i)}{k_i}; \quad C_i = \frac{u''_i(a_i)}{k_i^2}; \quad D_i = \frac{u'''_i(a_i)}{k_i^3}. \quad (2.144)$$

Аналогичные формулы справедливы и для $(i+1)$ участка ротора:

$$A_{i+1} = u_{i+1}(a_{i+1}); \quad B_{i+1} = \frac{u'_{i+1}(a_{i+1})}{k_{i+1}}; \quad C_{i+1} = \frac{u''_{i+1}(a_{i+1})}{k_{i+1}^2}; \quad D_{i+1} = \frac{u'''_{i+1}(a_{i+1})}{k_{i+1}^3}. \quad (2.145)$$

Произвольные постоянные любого участка A_i ..., D_i могут быть выражены в виде линейной комбинации через неизвестные произвольные постоянные нулевого участка A_0 и B_0 :

$$\left. \begin{aligned} A_i &= \alpha_{1,i} A_0 + \beta_{1,i} B_0 + \gamma_{1,i}; \\ B_i &= \alpha_{2,i} A_0 + \beta_{2,i} B_0 + \gamma_{2,i}; \\ C_i &= \alpha_{3,i} A_0 + \beta_{3,i} B_0 + \gamma_{3,i}; \\ D_i &= \alpha_{4,i} A_0 + \beta_{4,i} B_0 + \gamma_{4,i}. \end{aligned} \right\} \quad (2.146)$$

Аналогично для участка $i+1$

$$\left. \begin{aligned} A_{i+1} &= \alpha_{1,i+1} A_0 + \beta_{1,i+1} B_0 + \gamma_{1,i+1}; \\ B_{i+1} &= \alpha_{2,i+1} A_0 + \beta_{2,i+1} B_0 + \gamma_{2,i+1}; \\ C_{i+1} &= \alpha_{3,i+1} A_0 + \beta_{3,i+1} B_0 + \gamma_{3,i+1}; \\ D_{i+1} &= \alpha_{4,i+1} A_0 + \beta_{4,i+1} B_0 + \gamma_{4,i+1}. \end{aligned} \right\} \quad (2.147)$$

Из выражения (2.143) видно, что для определения произвольных постоянных на участке i , нужно знать A_0 и B_0 и значения коэффициентов, входящих в выражение (2.147).

На левом и правом концах ротора всегда возможно ввести фиктивные консольные участки, которые могут в реальности существовать. Например, вертикальные роторы имеют два консольных сегмента. В таком случае изгибающий момент и перерезывающая сила на концах ротора равны нулю, что также касается и второй, и третьей производных функции $u(x)$, которые также равны нулю $u''_{i+1}(a_{i+1}) = u'''_{i+1}(a_{i+1}) = 0$.

Исходя из принятых допущений при $x=0$, получим:

$$\left. \begin{aligned} u_1(0) &= u_0; \\ u'_1(0) &= u'_0; \\ u''_1(0) &= u'''_1(0) = 0. \end{aligned} \right\} \quad (2.148)$$

Теперь используя (2.148), получим из (2.145):

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= u_0 = A_0; \\ B_1 &= \frac{u'_0}{k_1} = B_0; \\ C_1 &= D_1 = 0. \end{aligned} \right\} \quad (2.149)$$

Для первого участка, при $i=1$ будем иметь:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{1,1} &= \beta_{2,1} = 1; \\ \alpha_{2,1} &= \alpha_{3,1} = \alpha_{4,1} = \beta_{1,1} = \beta_{2,1} = \beta_{3,1} = \beta_{4,1} = \gamma_{1,1} = \gamma_{2,1} = \gamma_{3,1} = \gamma_{4,1} = 0. \end{aligned} \right\} \quad (2.150)$$

Значения этих коэффициентов при других значениях i будут определяться из условий сопряжения, которые в связи с принятой расчетной схемой, будут одинаковы и иметь вид:

$$\left. \begin{aligned} u_{i+1}(a_{i+1}) &= u_i(a_{i+1}); \\ u'_{i+1}(a_{i+1}) &= u'_i(a_{i+1}); \\ EI_{i+1}u''_{i+1}(a_{i+1}) &= EI_i u''_i(a_{i+1}) - u'_{i+1}(a_{i+1})(K_i \omega^2 + \beta_i) + M_C; \\ EI_{i+1}u'''_{i+1}(a_{i+1}) &= EI_i u'''_i(a_{i+1}) - u_{i+1}(a_{i+1})\left(\frac{P_i}{g} \omega^2 - \alpha_i\right) + \frac{P_i}{g} \varepsilon_i \omega^2 + R_C. \end{aligned} \right\} \quad (2.151)$$

Формулы (2.151) учитывают, что гироскопический момент деталей, установленных на вал, а также упругий момент, возникающий при защемлении ротора в опоре, уменьшают величину общего изгибающего момента при переходе от одного участка к другому. Также важно отметить, что если на границе участков располагается сосредоточенная масса диска, то для достижения максимального прогиба упругой линии инерционная сила, возникающая от прогиба вала и дебаланса, должны действовать в одинаковом направлении. Изгибающий момент M_C и перерезывающая сила R_C могут иметь любое происхождение, в нашем случае механическое и их значения должны определяться в ходе соответствующих исследований. Опора с радиальной жесткостью снижает величину прогиба и перерезывающей силы, что отражается знаком перед радиальной жесткостью ($-\alpha_i$).

Реализуя условие (2.151), определяются $A_{i+1} \dots D_{i+1}$, затем коэффициенты $\alpha_{i+1} \dots \gamma_{i+1}$. Необходимые для определения произвольных постоянных A_i, B_i, C_i, D_i значения параметров A_0, B_0 находим из граничных условий на втором конце ротора. Как отмечено выше, этот конец ротора принимается также консольным, поэтому $C_{i+1} = D_{i+1} = 0$ или

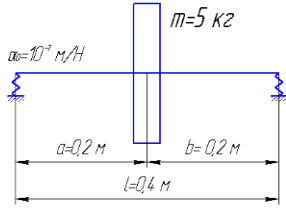
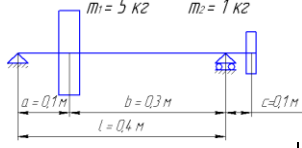
$$\left. \begin{aligned} \alpha_{3,i+1}A_0 + \beta_{3,i+1}B_0 + \gamma_{3,i+1} &= 0; \\ \alpha_{4,i+1}A_0 + \beta_{4,i+1}B_0 + \gamma_{4,i+1} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (2.152)$$

Из этой системы определяются начальные параметры A_0 и B_0 в виде:

$$\left. \begin{aligned} A_0 &= \frac{\gamma_{4,i+1}\beta_{3,i+1} - \gamma_{3,i+1}\beta_{4,i+1}}{\alpha_{3,i+1}\beta_{4,i+1} - \alpha_{4,i+1}\beta_{3,i+1}}; \\ B_0 &= \frac{\gamma_{3,i+1}\alpha_{4,i+1} - \gamma_{4,i+1}\alpha_{3,i+1}}{\alpha_{3,i+1}\beta_{4,i+1} - \alpha_{4,i+1}\beta_{3,i+1}}. \end{aligned} \right\} \quad (2.153)$$

Критические скорости определяются при условии, что определитель системы уравнений равен нулю, то есть знаменатель выражения (2.151) также равен нулю. Для этого применяется метод остатка. Вынужденные колебания при заданных возмущающих силах рассчитываются на номинальных частотах вращения ротора, а также на частотах, достигаемых в процессе регулирования и при разгонных частотах. В таблице 2.1 представлен сопоставительный анализ результатов расчета, выполненных по методам определения критических скоростей, описанным в [23], и рассматриваемому методу.

Таблица 2.1 – Значения критических скоростей ротора

Расчетные схемы	Расчетные формулы	Значение $\omega_{кр}$	Расхождение %							
С учетом упругих опор $d_g = 0,02 \text{ м}, m_g = 1 \text{ кг}$ 	$\omega = \frac{1}{\sqrt{\alpha m}} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{1}{2} \frac{\alpha_0}{\alpha}}}$ где α – коэффициент податливости вала, м/Н, α_0 – коэффициент податливости упругой опоры, м/Н, m – масса насаженной на вал детали, кг	497	-							
	<table border="1"> <tr> <td rowspan="2">Рассматриваемый</td> <td>без учета массы вала</td> <td>497</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>с учетом массы вала</td> <td>460</td> <td>8</td> </tr> </table>	Рассматриваемый	без учета массы вала	497	0	с учетом массы вала	460	8		
Рассматриваемый	без учета массы вала		497	0						
	с учетом массы вала	460	8							
Двухмассовая система без учета упругих опор $d_g = 0,02 \text{ м}, m_g = 1,1 \text{ кг}$ 	$\omega_1^2 = \frac{\alpha_{11}m_1 + \alpha_{22}m_2 - \sqrt{(\alpha_{11}m_1 + \alpha_{22}m_2)^2 - 4m_1m_2(\alpha_{11}\alpha_{22} - \alpha_{12}^2)}}{2m_1m_2(\alpha_{11}\alpha_{22} - \alpha_{12}^2)}$ $\omega_2^2 = \frac{\alpha_{11}m_1 + \alpha_{22}m_2 + \sqrt{(\alpha_{11}m_1 + \alpha_{22}m_2)^2 - 4m_1m_2(\alpha_{11}\alpha_{22} - \alpha_{12}^2)}}{2m_1m_2(\alpha_{11}\alpha_{22} - \alpha_{12}^2)}$	608 1307	- -							
	<table border="1"> <tr> <td rowspan="2">Рассматриваемый</td> <td>без учета массы вала</td> <td>608 1297</td> <td>0 1</td> </tr> <tr> <td>с учетом массы вала</td> <td>543 1073</td> <td>12 17</td> </tr> </table>	Рассматриваемый	без учета массы вала	608 1297	0 1	с учетом массы вала	543 1073	12 17		
Рассматриваемый	без учета массы вала		608 1297	0 1						
	с учетом массы вала	543 1073	12 17							

При массе вала, составляющей около 20% от массы диска, расхождение первых критических скоростей, определенных по сравнению с различными методами, составляет не более 10%. При этом критические скорости, вычисленные с использованием предложенного метода, ниже, чем результаты, полученные по методам, описанным в работе [23]. В нашем случае первое критическое значение угловой скорости с учетом вышеперечисленных факторов составляет 608 рад/с, что вполне находится в безопасной зоне.

Данную математическую модель для расчета можно реализовать с помощью приложений Matlab и Mathcad и использовать как в проектировании роторных систем, так и в образовательном процессе.

2.7. Выводы по главе

1. Предложена новая конструктивно-технологическая схема двухроторной садовой фрезы, позволяющая проведение полной механической обработки почвы приствольной полосы и зоны приствольного круга за один проход вдоль линии ряда.

2. Получены аналитические зависимости, позволяющие определить основные конструктивные и технологические параметры двухроторной садовой фрезы: диаметры роторов и предохранительных колес, угол установки поворотной балки фрезы; траекторию движения, кинематический режим работы, окружную скорость и частоту вращения фрезы, жесткость пружины, скорость движения, затраты мощности на привод фрезерного рабочего органа; а также пределы изменения этих параметров, оказывающие наибольшее влияние на полное фрезерование площади приштамбовой зоны плодовых насаждений.

3. Получены рациональные параметры предлагаемой двухроторной садовой фрезы: скорость движения от 2 до 6 км/ч; частота вращения роторов от 150 до 350 об/мин; допустимые значения коэффициента жесткости пружины сжатия телескопической стойки $c_2 \leq 1730$ Н/м.

4. Разработан метод расчета динамической устойчивости сложного ротора, учитывающий распределение массы вала, переменную жесткость, упругое зажатие в опорах, массу установленных дисков, их гироскопические свойства, эксцентricность посадки дисков и сосредоточенные внешние нагрузки. Первое критическое значение угловой скорости роторов в нашем случае составляет 608 рад/с, что вполне находится в безопасной зоне.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

3.1. Программа экспериментальных исследований

В соответствии с поставленной задачей в работе по повышению эффективности механической обработки зоны приствольного круга и полосы приствольной в один проход вдоль по линии ряда, необходимо провести экспериментальные исследования.

Комплексные полевые и лабораторные испытания двухроторной садовой фрезы были предприняты для: апробации теоретических моделей; идентификации ключевых факторов и анализа их воздействия на качество фрезерования в рядах деревьев; глубокого понимания функционирования фрезы и оценки ее производительности.

Для решения задач диссертационной работы в программу проведения исследования входили:

- разработка опытного образца фрезерного механизма;
- исследование кинематических и динамических параметров поворотной фрезерной секции при его обходе вокруг штамба;
- определение значимых показателей качества процесса фрезерования (подрезаемость сорной растительности, размеры крошения почвы и геометрия микрорельефа поверхности после прохождения фрезы) и их зависимость от конструктивных и кинематических параметров фрезы;
- проведение агротехнической оценки работы конструкции двухроторной фрезы на террасированных склонах.

Методикой проведения предусматривалось проведение полевых, производственных испытаний и лабораторных исследований.

Основой для экспериментальных исследований были приняты: ГОСТ 28516-90 «Межгосударственный стандарт. Фрезы почвообрабатывающие, общие

технические требования», далее ГОСТ ЕН 708 -2004 «Машины сельскохозяйственные. Машины почвообрабатывающие с механизированными рабочими органами. Требования безопасности», также ГОСТ 33677-2015 «Машины и орудия для междурядной и рядной обработки почвы. Методы испытаний», также согласно ГОСТ 20915 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний», далее согласно ГОСТ 24055 «Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки» [33,34,35,72].

В 2020-2023 гг. проводились лабораторные и производственные испытания конструктивно-технологических параметров разработанной двухроторной фрезы.

Местами для проведения натурных и модельных экспериментальных исследований были определены:

- экспериментальные участки Северо-Кавказского научно-исследовательского института горного и предгорного садоводства;
- экспериментальный участок, а также лаборатории КБГАУ;
- ООО «Племенной совхоз «Кенже» (г. Нальчик, КБР).

С использованием методики РДМУ 109-77 проводилась настройка основных параметров фрезы. В нашем случае, в методику испытания двухроторной фрезы были внесены небольшие дополнения.

3.2. Методика исследования технологических параметров двухроторной фрезерной секции в полевых условиях

Полевые экспериментальные исследования осуществлялись непосредственно в междурядьях садового участка. Почва на экспериментальной территории представляла собой типичный для Северо-Кавказского федерального округа РФ средневыщелоченный чернозем. На начальном этапе исследований производилось определение влажности и плотности почвы в поверхностном слое от 0 до 18 сантиметров. Влажность почвы определяли влагомером TR 46908 (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Влагомер TR 46908

Прибор оснащен двумя зондами: для измерения параметра влажности почвы и температуры на разных глубинах, а также функцией автоматической компенсации температуры.

Для измерения влажности почвы необходимо:

1. Погрузить 2 зонда в почву до уровня корней.
2. Выбрать режим (ГЛИНА/ПЕСОК).
3. На дисплее высвечиваются показания измерений.

Технические характеристики влагомера TR 46908: Диапазон измерения влажности почвы: 0 -100%; Диапазон измерения температуры почвы: от -5°C до +150°C. Материал зонда для измерения влажности: нержавеющей сталь, диаметр 6 мм, длина 23 см; Зонд для измерения температуры: нержавеющей сталь, диаметр 3 мм, длина 15 см. В наших экспериментах абсолютная влажность почвы равнялась $W = 22,1...24,7\%$.

Для определения твердости садовой почвы использовали статический плотнометр конструкции DICKEY-john (рис. 3.2).



а)



б)

а) плотномер DICKEY- john; б) измерение плотности почвы в саду

Рисунок 3.2 – Измерение плотности почвы

При разделении на фракции обработанной садовой почвы пользовались комплектом специальных лабораторных сит с диаметрами отверстий от 0,2 до 15 мм. Для измерения геометрических параметров поверхности обработанной почвы пользовались координатной доской. При этом разброс обработанной почвы определяли с помощью координатной доски. Частота вращения роторов фрезы измерялась электромагнитным датчиком.

Опытный образец двухроторной вертикальной фрезы (рис. 3.3) был изготовлен в соответствии с разработанной конструктивно-технологической схемой (рис. 2.1). Два фрезерных ротора с L-образными формами ножей были смонтированы на поворотном бруске, закрепленном на телескопической раме. Ширина захвата секции в данном эксперименте составляет 0,8 м. Конструкция поворотного бруска допускает увеличение ширины до 1 м..

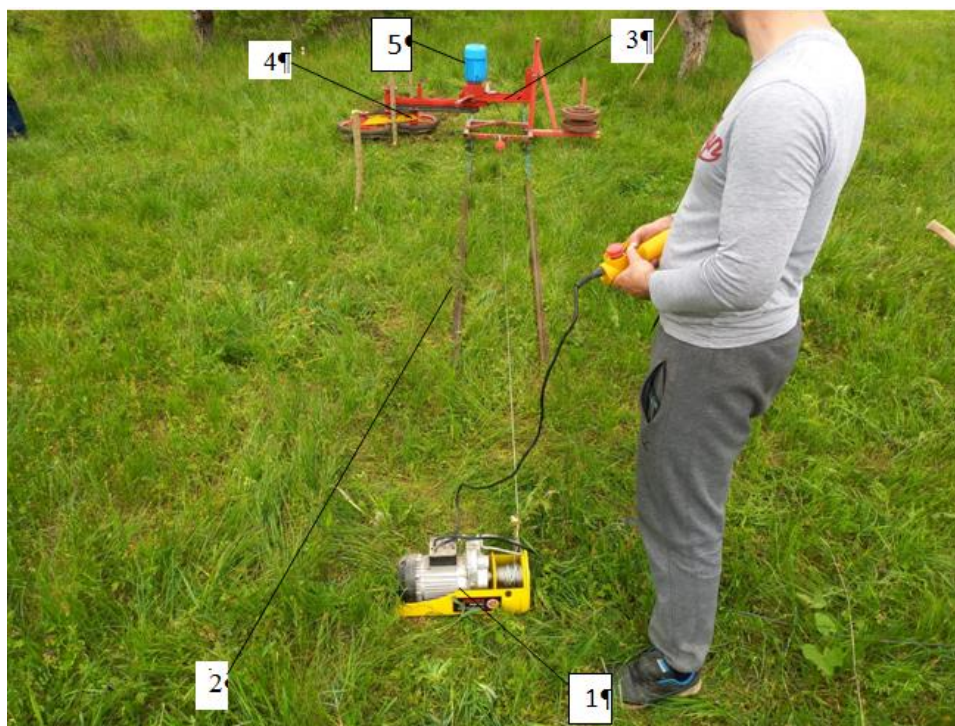


Рисунок 3.3 – Опытный образец вертикальной садовой фрезы

Привод фрезерных роторов осуществляется от асинхронного электродвигателя мощностью 7,5 кВт и частотой вращения 725 об/мин. Для изменения числа оборотов фрезерных роторных рабочих органов пользовались шкивами различного диаметра. Конструкция фланцев фрезерных роторов позволяла: - устанавливать от 2-х до 4-х ножей. Также имелась возможность установки ножей ротора с разной длиной, при этом, не изменяя диаметр самих фланцев. Частоту вращения роторов измеряли бесконтактным оптическим тахометром DT2234C.

Экспериментальная установка для натурных испытаний включала в себя следующие основные элементы:

1. Передвижная несущая рама, на которой закреплен электрический тельфер 1, для перемещения по двум направляющим 2, каретки 3 с двухроторной фрезой 4.

2. Электродвигатель 5 является приводом для роторов. Угловая скорость вращения рабочих роторов меняется применением шкивов различного диаметра. Фактическая частота вращения роторов контролировалась лазерным тахометром Hs 2234.

3. Поступательная скорость перемещения фрезы регулировалась посредством использования в редукторе полиспаста сменных блоков различных диаметров, что позволяло управлять скоростью вращения приводного вала тельфера.

4. Основные параметры электродвигателя для привода фрезы приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Техническая характеристика асинхронного электродвигателя

Тип двигателя	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Кратность пускового тока, А	КПД, %	Коэффициент мощности, $\cos \varphi$
АИР 160S8	7,5	725	6,5	86	0,72

Экспериментальная установка для натурных испытаний функционировала следующим образом.

В пределах приствольного круга, подлежащего фрезерованию, на определенном расстоянии от центральной оси передвижной рамы (линии ряда деревьев) в грунт вертикально устанавливались маркеры, имитирующие штамбы обрабатываемых деревьев. В качестве маркеров использовались поленья плодовых деревьев различных диаметров (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Экспериментальные поленья, имитирующие штамб

После пуска электродвигателя привода фрезерных рабочих органов включается двигатель электротельфера 1 (рис. 3.3), который перемещает платформу 3 с закрепленной на нем двухроторной фрезой 4 по направляющим 2.

После контакта щупа с вешкой, имитирующим штаб, срабатывал механизм поворота и роторы поворачивались вокруг опорного подшипника на 180^0 с одновременной обработкой зоны вокруг поленья. После чего установка перемещалась по направляющей к следующему штабу. После прохождения фрезы в обработанной зоне проводился контроль основных агротехнологических показателей (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 – Фрезерование вокруг штаба

Перед началом эксперимента в соответствии с ОСТом [34] отбирались пробы почвы для определения влажности на глубинах 0...5, 5...10, 10...15 см. по диагонали участка. Также измеряли плотность почвы, и с интервалом в 2 м. вбивалось 8 кольев на глубину до 40 см. Засоренность экспериментального участка сорными растениями определялась на площадках длиной 0,5 ... 0,6 м и шириной до 1 м. Было выбрано 7 площадок по 2м. Через сутки после проведения экспери-

мента проверялось количество неподрезанных сорняков. При обходе штамба не обрабатываемые участки в виде защитной зоны не рассматривались.

При планировании экспериментальных исследований, для определения оптимизируемых параметров и количеством повторностей руководствовались литературными источниками [1,27, 36,39,40,72,74,120]. При проведении исследования число повторностей каждого эксперимента находилось графоаналитическим методом на основании принятой также доверительной вероятности и среднеквадратического отклонения, определяемого по результатам предварительных тестов.

При проведении полевых экспериментов по исследованию кинематики и динамики фрезерных секции в условиях обхода штамба для высокой доверительной вероятности необходимо реализовать по 8-10 повторностей каждого теста.

Эксперименты проводили в натурных условиях, с использованием вбитых в почву кольев на участке 15 м. в междурядьях многолетнего сада, где проводится периодическая обработка однородной почвы, получены достаточно невысокие для данных исследований почвообрабатывающих машин параметры среднеквадратического отклонения. В качестве основного метода по анализу технологических процессов функционирования фрезы принята теория планирования многофакторного эксперимента.

При проведении данного эксперимента был применен подход, предполагающий варьирование только одного параметра при фиксации остальных переменных на постоянном уровне. Основными критериями оценки функционирования рабочих органов разработанной двухроторной фрезы являются:

1. Работоспособность и долговечность конструктивной части.
2. Качественные показатели технологических параметров.

Обработанная фрезой площадь разбивалась на участки площадью каждая 1 м², после чего проверялись качественные показатели работы фрезерного агрегата (рис. 3.6).

При проведении натурных полевых экспериментальных исследований было установлено, что на подрезаемость сорных растений влияние оказывают сле-

дующие основные факторы: скорость передвижения фрезерного агрегата; частота вращения фрезерных роторов; жесткости, входящих в конструкцию вертикальной фрезы пружин, а также геометрические параметры конструкции фрезы. С помощью рулетки измерялся радиус защитной зоны от штамба по следу разрыхленной почвы, который в нашем случае составлял 0,3 м., что соответствует 0,071 м². Полученные данные записывали в таблицу. Уничтожение сорных растений в обрабатываемой зоне составило 98 %.



Рисунок 3.6 - Контроль качества фрезерования почвы вокруг штамба

Крошение обработанной почвы по фракциям составило:

- количество крупной (более 40 мм) составило 10,7 %;
- средней (20–40 мм) – 12,4 %;
- мелкой (10–20 мм) – 41,4 %; – мелкой (4–10 мм) – 19,2 %;
- мелкой (1,5–4 мм) – 10,6%;
- содержание эрозионно-опасных частиц не превышало 2,7 %.

3.3. Методика обработки результатов экспериментальных исследований по оптимизации конструктивно технологических параметров двухроторной фрезы

Широкое применение математические методы планирования экспериментальных исследований находят при математическом описании и оптимизации параметров многофакторных объектов [1, 27, 28, 36, 39, 40, 74, 120], к числу которых можно отнести и разработанную двухроторную фрезу.

Критерием оптимальной оценки работы двухроторной фрезы принята полнота фрезерования площади вокруг штамба плодового дерева.

Теоретические исследования работы двухроторной фрезы показали, что на полноту фрезерования площади вокруг штамба плодового дерева будут влиять следующие факторы: скорость передвижения фрезы V ; глубина обработки почвы h ; угловая скорость вращения ротора ω . Интервалы варьирования независимых переменных приведены в таблице 3.2.

Геометрические параметры конструкции фрезы определяются техническими, прочностными и технологическими условиями при обработке приствольной полосы. Степень равномерности подрезания и крошения всей площади приствольной зоны зависят от скорости движения агрегата V , м/с; угловой скорости ротора фрезы ω , рад/с; параметра жесткости двух пружин сжатия размещенных в телескопической балке c_1 , Н/м.

Таблица 3.2 – Факторы и уровни их варьирования

Шаг и уровни варьирования факторов	Кодированное (безразмерное) значение факторов	Натуральное значение факторов		
		X_1 (V , м/с)	X_2 (h , м)	X_3 (ω , рад/с)
Шаг	-	0,514	0,02	5,2
Верхний	+1	1,54	0,1	36,5
Нулевой	0	1,03	0,08	31,3
Нижний	-1	0,514	0,06	26,1

Ранее проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что наиболее предпочтительным по количеству ножей в одном роторе является $z = 4$ [72]. При этом скорость отрезания слоя почвы не является постоянной величиной, имеет место ее изменения в пределах одного оборота ротора фрезы, в расчетах принимается средняя скорость резания, определяемая по источникам [51,55].

Представление технологических процессов в производстве с помощью линейных моделей зачастую оказывается недостаточно точным. В таких случаях необходимо использовать экспериментальные планы второго порядка. Данные планы применяются, когда проверка адекватности линейной модели выявляет её несоответствие реальному процессу. Это свидетельствует о том, что изучаемое явление не может быть описано с приемлемой точностью полиномом первого порядка. Для описания криволинейной поверхности отклика используем полином второго порядка в виде:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j>1}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2, \quad (3.1)$$

где b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} – коэффициенты регрессии; n – количество факторов; i – порядковый номер фактора.

В нашем случае был выбран трехуровневый план Бокса-Бенкина [27, 74]. В ходе планирования экспериментальных исследований предварительно определены следующие параметры: надежность результатов эксперимента - 0,95; допустимая ошибка $\varepsilon = \pm\sigma$; число повторностей опытов - 3.

Для составления матрицы планирования эксперимента необходимо определить общее число точек плана. При центральном композиционном планировании с $k=3$ факторами это число будет:

$$N = 2^k + 2k + n_0, \quad (3.2)$$

где 2^k – ядро плана (равно 8); $2k$ – звездные точки (равно 6); n_0 – число точек в центре эксперимента (равно 2).

При подстановке и преобразовании заданных параметров ядра и точек в формулу (3.2) получим значение $N=15$ и матрица принимает вид: таблица. 3.3.

Дальнейшая обработка результатов проводилась с помощью программы ПЭВМ.

Для эксперимента, имеющего три фактора уравнение регрессии имеет вид:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{33} X_3^2 \quad (3.3)$$

Коэффициенты регрессии рассчитываются по выражениям:

$$b_0 = a_1 \sum_{u=1}^N Y_{ucp} - a_2 \sum_{u=1}^N (X_{1u}^2 + X_{2u}^2 + X_{3u}^2) \cdot Y_{ucp}; \quad (3.4)$$

$$b_i = a_3 \sum_{u=1}^N X_{iu} Y_{ucp} / N; \quad (3.5)$$

$$b_{ij} = a_4 \sum_{u=1}^N X_{iu} X_{ju} Y_{ucp}; \quad (3.6)$$

$$b_{ii} = a_5 \sum_{u=1}^N X_{iu}^2 Y_{ucp} + a_6 \sum_{u=1}^N X_{ku}^2 Y_{ucp} - a_7 \sum_{u=1}^N Y_{ucp}, \quad (3.7)$$

где $a_1=0,1663$; $a_2=0,0568$; $a_3=0,732$; $a_4=0,125$; $a_5=0,0625$; $a_6=0,0069$; $a_7=0,0568$.

Таблица 3.3 – Матрица трехуровневого плана Бокса-Бенкина

i	X_0	X_1	X_2	X_3	X^2_1	X^2_2	X^2_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	Y_i
1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	Y_1
2	1	1	-1	0	1	1	0	-1	0	0	Y_2
3	1	-1	1	0	1	1	0	-1	0	0	Y_3
4	1	-1	-1	0	1	1	0	1	0	0	Y_4
5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Y_5
6	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	Y_6
7	1	1	0	-1	1	0	1	0	-1	0	Y_7
8	1	-1	0	1	1	0	1	0	-1	0	Y_8
9	1	-1	0	-1	1	0	1	0	1	0	Y_9
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Y_{10}
11	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	Y_{11}
12	1	0	1	-1	0	1	1	0	0	-1	Y_{12}
13	1	0	-1	1	0	1	1	0	0	-1	Y_{13}
14	1	0	-1	-1	0	1	1	0	0	1	Y_{14}
15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Y_{15}

Среднее значение определяются для каждого i -го опыта ($i=1...N$), дисперсия, среднеквадратичное отклонение и коэффициент вариации:

$$\bar{Y}_i = \frac{\sum_{u=1}^n (y_i)_u}{n}, \quad (3.8)$$

$$S^2(y_i) = \frac{\sum_{u=1}^n [(y_i)_u - \bar{Y}_i]^2}{m}, \quad (3.9)$$

$$\sigma = \sqrt{S^2(y_i)}, \quad (3.10)$$

$$V = \frac{\sigma}{\bar{Y}_i} \cdot 100 \quad (3.11)$$

где $(y_i)_u$ - значение отклика, для i - го опыта; n - количество серий.

Однородность дисперсии получили по критерию Кохрена. Параметр критерия Кохрена будет:

$$G_{расч} = \frac{S^2(y_i)_{MAX}}{\sum_{i=1}^N S^2(y_i)} \quad (3.12)$$

где $S^2(y_i)_{MAX}$ – максимальная из дисперсий $S^2(y_i)$.

Степень свободы связан с критерием $G_{расч}$: для числителя $f_1 = n - 1$, для знаменателя $f_2 = N$. Для доверительной вероятности α по параметрам f_1 и f_2 находим параметр критерия Кохрена $G_{табл}$. Дисперсию $S^2\{y_i\}$, входящую в параметр оптимизации находим из опытов в центре плана (таблица 3.1, опыты 5; 10; 15). Для каждого коэффициента регрессии дисперсии находим по выражениям:

$$S^2\{b_0\} = \frac{1}{3} S^2\{y_i\} \quad (3.13)$$

$$S^2\{b_i\} = \frac{1}{8} S^2\{y_i\} \quad (3.14)$$

$$S^2\{b_{ij}\} = \frac{1}{4} S^2\{y_i\} \quad (3.15)$$

$$S^2\{b_{ii}\} = \frac{13}{48} S^2\{y_i\} \quad (3.16)$$

Доверительный интервал для коэффициентов регрессии будет:

$$\Delta b_0 = \sqrt{S^2\{b_0\}} \quad (3.17)$$

$$\Delta b_i = \sqrt{S^2\{b_i\}} \quad (3.18)$$

$$\Delta b_{ij} = \sqrt{S^2\{b_{ij}\}} \quad (3.19)$$

$$\Delta b_{ii} = \sqrt{S^2\{b_{ii}\}} \quad (3.20)$$

Проверяется выполнение условия неравенства:

$$|b| > \Delta b \quad (3.21)$$

Коэффициент считается значимым, если выполняется данное условие.

Для оценки точности прогнозов, сделанных с помощью модели, используется F-критерий Фишера. Это статистический тест, который сравнивает вариативность между расчетными значениями модели и фактическими экспериментальными результатами.

Дисперсию определяем по выражению:

$$S_{ad}^2 = \frac{S_R - S_E}{N - k - (n - 1)}, \quad (3.22)$$

где k – количество значимых коэффициентов.

Определяем значение F –критерия Фишера:

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{S^2\{y_i\}} \quad (3.23)$$

Определяем стационарные точки поверхности отклика из системы уравнений:

$$\frac{dy_m}{dX_1} = 0; \frac{dy_m}{dX_2} = 0; \frac{dy_m}{dX_3} = 0. \quad (3.24)$$

Решениями системы уравнений (3.24) будут оптимальные параметры факторов в кодированном виде: $X_1^*; X_2^*; X_3^*$. Далее получаем оптимальные значения факторов в натуральном виде.

3.4. Оптимизация основных конструктивно-технологических параметров работы двухроторной садовой фрезы

Для установления оптимальных режимов функционирования двухроторной фрезы, обеспечивающих максимальную полноту фрезерования площади вокруг штамба плодового дерева, проведен многофакторный эксперимент.

Эксперименты проводились на почвах типа средневещелоченного чернозема с твердостью на момент проведения 2,2...2,5 МПа при абсолютной влажности, равной – 22,1...24,7% и глубине обработки от 6 см до 10 см, количество фрезерных ножей на каждом роторе от 2 до 4 шт.

Для сравнения полученных результатов проведенных экспериментов и данных, полученных теоретическим путем кинематики фрезерной поворотной секции в условиях обхода штамба, занесены в таблицу 3.4.

Таблица 3.4- Полученные результаты исследований (критерий оптимизации – полнота фрезерования площади вокруг штамба плодового дерева $K_{п}$, %)

i	Фактор			Отклик			
	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_3	Y_{cp}
1	1	1	0	84,3	79,4	82,9	82,2
2	1	-1	0	80	81,3	80,3	80,53
3	-1	1	0	84,9	87,8	83,3	85,33
4	-1	-1	0	86,5	86,5	85,2	86,07
5	0	0	0	96,9	95,6	98,2	96,9
6	1	0	1	81,3	83,9	82,6	82,6
7	1	0	-1	74,8	70,9	72,2	72,63
8	-1	0	1	90,4	89,1	90,1	89,87
9	-1	0	-1	76,3	79,3	77,3	77,63
10	0	0	0	96,9	98,9	98,2	98,0
11	0	1	1	90,7	87,8	88,8	89,1
12	0	1	-1	80	78,7	80	79,57
13	0	-1	1	90,4	87,9	89,1	89,13
14	0	-1	-1	78,1	77,4	77,4	77,63
15	0	0	0	96,5	97,3	96,6	96,8

Незначительная разница в значениях основных параметров получается из-за того, что в теоретических расчетах было принято то, что сила реакции штамба имеет направление, противоположное направлению движения самого агрегата. В реальности данная сила имеет небольшое отклонение в сторону от воздействия трения. Доказано исследованиями, что у L-образных загнутых наружу ножей разброс обработанной почвы происходит от воздействия стойки. Допущения, приня-

тые в обоих случаях привели к взаимной компенсации измеряемых параметров. Результаты основных параметров, полученных теоретическим и практическим путем, имеют близкие значения, что подтверждает достоверность полученной модели, а также правильность теоретических расчетов. Значения коэффициентов регрессии показаны в таблице 3.5. Проверка коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента показало, что все полученные коэффициенты значимы.

Таблица 3.5 – Значения коэффициентов регрессии

Формула для расчета	Значение
$b_o = a_1 \sum_{u=1}^N Y_{ucp} - a_2 \sum_{u=1}^N (X_{1u}^2 + X_{2u}^2 + X_{3u}^2) \cdot Y_{ucp}$	97,2332
$b_1 = a_3 \sum_{U=1}^N X_{1u} Y_{ucp} / N$	-2,6176
$b_2 = a_3 \sum_{U=1}^N X_{2u} Y_{ucp} / N$	0,356
$b_3 = a_3 \sum_{U=1}^N X_{3u} Y_{ucp} / N$	5,406
$b_{12} = a_4 \sum_{u=1}^N X_{1u} X_{2u} Y_{ucp}$	0,6026
$b_{13} = a_4 \sum_{u=1}^N X_{1u} X_{3u} Y_{ucp}$	-0,567
$b_{23} = a_4 \sum_{u=1}^N X_{2u} X_{3u} Y_{ucp}$	-0,4926
$b_{11} = a_5 \sum_{u=1}^N X_{1u}^2 Y_{ucp} + a_6 \sum_{u=1}^N (X_{1u}^2 + X_{2u}^2 + X_{3u}^2) \cdot Y_{ucp} - a_7 \sum_{u=1}^N Y_{ucp}$	-8,4378
$b_{22} = a_5 \sum_{u=1}^N X_{2u}^2 Y_{ucp} + a_6 \sum_{u=1}^N (X_{1u}^2 + X_{2u}^2 + X_{3u}^2) \cdot Y_{ucp} - a_7 \sum_{u=1}^N Y_{ucp}$	-5,2628
$b_{33} = a_5 \sum_{u=1}^N X_{3u}^2 Y_{ucp} + a_6 \sum_{u=1}^N (X_{1u}^2 + X_{2u}^2 + X_{3u}^2) \cdot Y_{ucp} - a_7 \sum_{u=1}^N Y_{ucp}$	-8,1128

Расчетный параметр критерия Кохрена $G_{расч} = 0,224$, значение табличное $G_{табл} = 0,335$. По результатам принимаем гипотезу однородности дисперсий.

Далее составлены уравнения регрессии в виде:

$$Y_{K_{II}} = 97,2333 - 2,6175X_1 + 0,355X_2 + 5,405X_3 + 0,6025X_1X_2 - 0,568X_1X_3 - 0,4925X_2X_3 - 8,4379X_1^2 - 5,2629X_2^2 - 8,1129X_3^2. \quad (3.25)$$

Проверка адекватности уравнения по критерию Фишера, показала адекватность полученного уравнения регрессии ($F_{расч} = 2,3466 < F_{расч} = 2,3593$).

В раскодированном виде уравнение регрессии (3.25) примет вид:

$$\begin{aligned} K_{II} = & 97,2333 - 2,6175\left(\frac{V-3,7}{1,85}\right) + 0,355\left(\frac{h-8}{2}\right) + 5,405\left(\frac{\omega-31,3}{5,2}\right) + \\ & + 0,6025\left(\frac{V-3,7}{1,85}\right)\left(\frac{h-8}{2}\right) - 0,568\left(\frac{V-3,7}{1,85}\right)\left(\frac{\omega-31,3}{5,2}\right) - \\ & - 0,4925\left(\frac{h-8}{2}\right)\left(\frac{\omega-31,3}{5,2}\right) - 8,4379\left(\frac{V-3,7}{1,85}\right)^2 - 5,2629\left(\frac{h-8}{2}\right)^2 - \\ & - 8,1129\left(\frac{\omega-31,3}{5,2}\right)^2. \end{aligned} \quad (3.26)$$

Уравнение (3.26) после преобразования примет вид:

$$\begin{aligned} K_{II} = & -357,259 + 17,3746V + 22,1088h + 20,4188\omega + 0,1628Vh - \\ & - 0,059V\omega - 0,0474h\omega - 2,4654V^2 - 1,3157h^2 - 0,3\omega^2. \end{aligned} \quad (3.27)$$

Для получения значений основных факторов, обеспечивающих максимальную полноту фрезерования площади вокруг штамба плодового дерева используем систему дифференциальных уравнений, на основе частных производных по трем основным факторам:

$$\begin{cases} \frac{dY_{K_{II}}}{dX_1} = -2,6175 + 0,6025X_2 - 0,568X_3 - 16,8758X_1 = 0 \\ \frac{dY_{K_{II}}}{dX_2} = 0,355 + 0,6025X_1 - 0,4925X_3 - 10,5258X_2 = 0 \\ \frac{dY_{K_{II}}}{dX_3} = 5,405 - 0,568X_1 - 0,4925X_2 - 16,2258X_3 = 0 \end{cases} \quad (3.28)$$

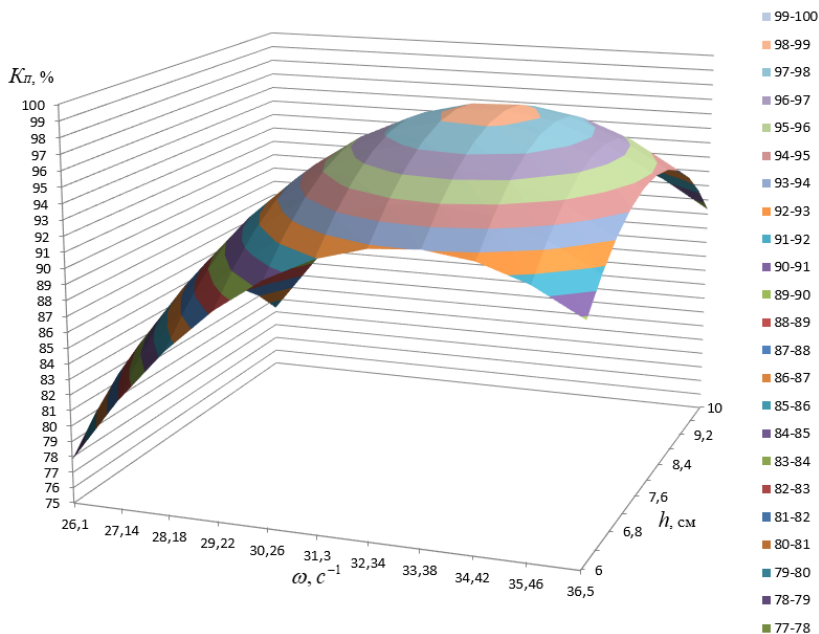
Решения системы уравнений (3.28), позволили получить оптимальные значения основных факторов в кодированном виде: $X_1 = -0,1662$; $X_2 = 0,008$; $X_3 = 0,3387$.

Значения факторов в раскодированном виде: скорость передвижения двухроторной фрезы $V = 0,941$ м/с ; глубина обработки почвы $h = 0,08$ м.; угловая скорость ротора $\omega = 33,06$ с⁻¹. Параметр критерии оптимизации (полнота фрезерования площади вокруг штамба плодового дерева) имеет максимальное значение и составляет 98,4%. Проверку воспроизводимости данного эксперимента проводили по критерию Кохрена. Его расчетное значение составило 0,224. При уровне значимости в 5%, $f_1 = 2$, $f_2 = 15$ соответствующее значение критерия Кохрена табличное будет $G_{табл} = 0,335$. В нашем случае расчетный параметр критерия Кохрена меньше табличного, что удовлетворяет гипотезе об однородности дисперсий.

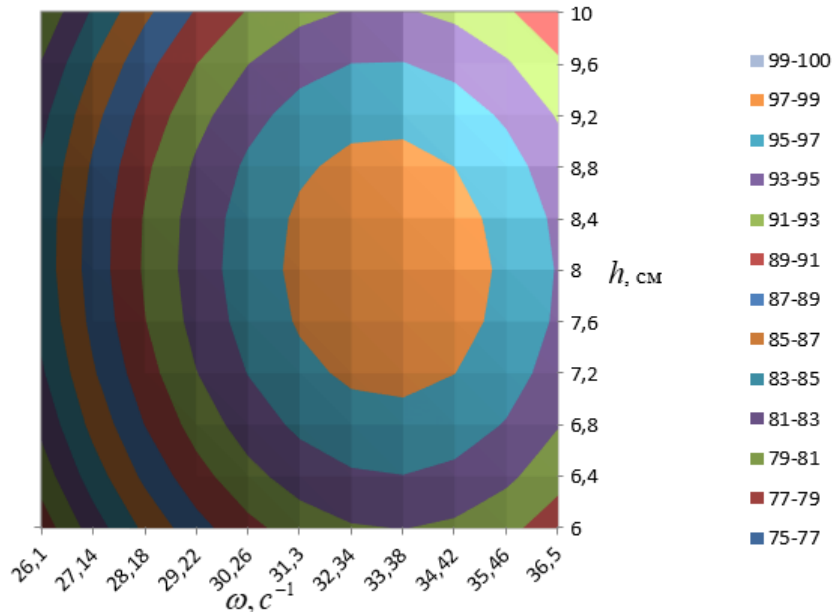
Уравнение регрессии при оптимальном значении скорости передвижения двухроторной фрезы ($V = 0,941$ м/с) имеет вид:

$$K_{II} = -326,6919 + 22,6609 h + 20,2187 \omega - 0,0474 h\omega - 1,3157 h^2 - 0,3\omega^2. \quad (3.29)$$

При изменении глубины обработки почвы и угловой скорости вращения ротора поверхность отклика (при оптимальном значении скорости передвижения двухроторной фрезы) представлена на рисунке 3.7.



а)



б)

Рисунок 3.7 – Поверхность отклика (а) и двумерное сечение (б) зависимости полноты фрезерования площади вокруг штамба плодового дерева K_{Π} от глубины обработки почвы h и угловой скорости вращения ротора ω при скорости передвижения двухроторной фрезы $V = 0,941$ м/с

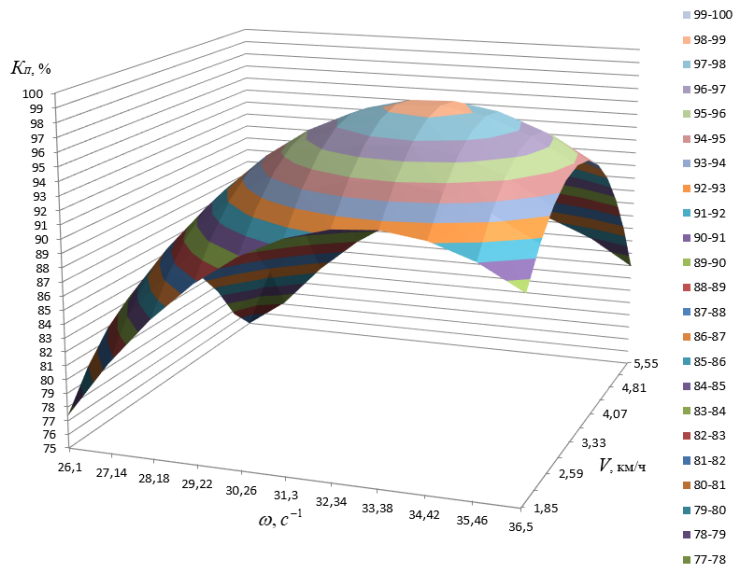
При нулевом уровне глубины обработки почвы ($h = 0,08$ м.) уравнение регрессии примет вид:

$$K_{\Pi} = -264,5741 + 18,6806 V + 20,039 \omega - 0,059 V \omega - 2,4654 V^2 - 0,3 \omega^2. \quad (3.30)$$

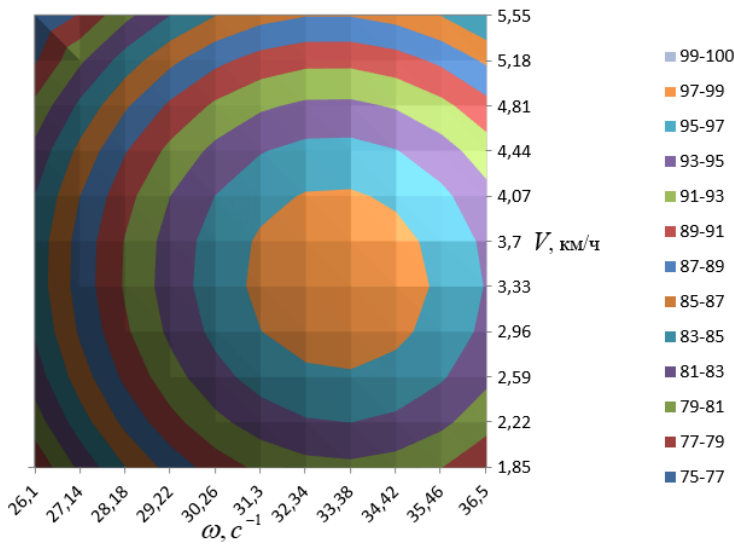
При изменении поступательной скорости агрегата и угловой скорости вращения ротора (оптимальное значение глубины обработки почвы) поверхность отклика приведена на рисунке 3.8.

Также при оптимальном значении угловой скорости вращения ротора ($\omega = 33,06$ рад/с) уравнение регрессии примет вид:

$$K_{\Pi} = -10,1384 + 15,4226 V + 20,5433 h + 0,1628 Vh - 2,4654 V^2 - 1,3157 h^2. \quad (3.31)$$



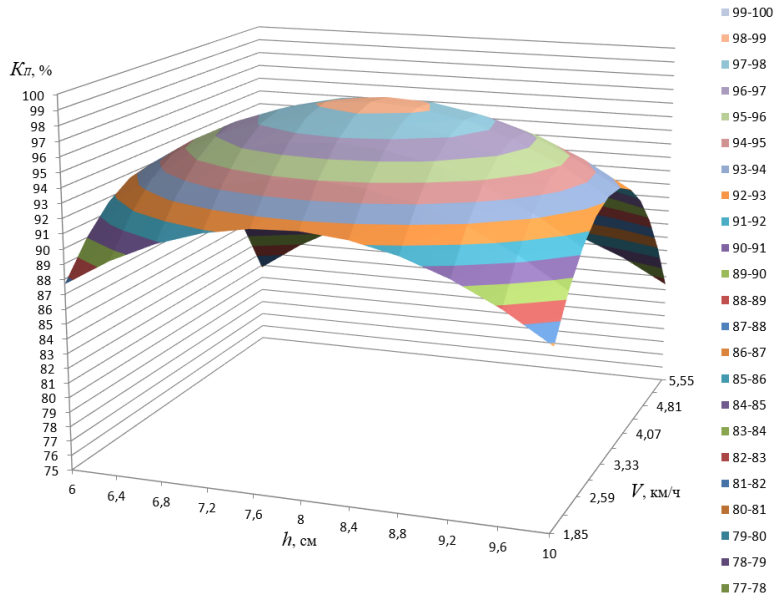
а)



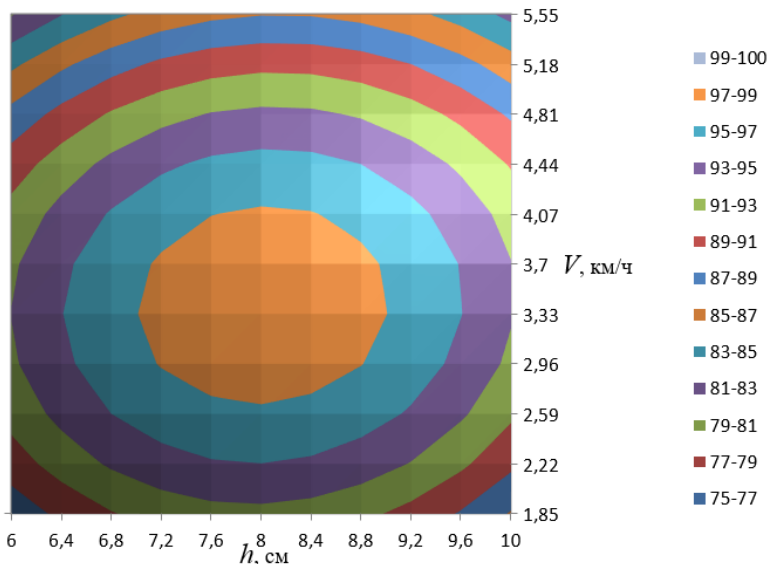
б)

Рисунок 3.8 – Поверхность отклика (а) и двумерное сечение (б) зависимости полноты фрезерования площади вокруг штамба плодового дерева K_n от скорости передвижения двухроторной фрезы V и угловой скорости вращения ротора ω при глубине обработки почвы $h = 0,08$ м.

Далее, при изменении скорости поступательного движения агрегата и глубины обработки почвы (оптимальное значение угловой скорости вращения ротора) поверхность отклика приведена на рисунке 3.9.



а)



б)

Рисунок 3.9 – Поверхность отклика (а) и двумерное сечение (б) зависимости полноты фрезерования площади вокруг штамба плодового дерева K_n от скорости передвижения двухроторной фрезы V и глубины обработки почвы h при угловой скорости вращения ротора $\omega = 33,06$ рад/с

Анализ результатов проведенного многофакторного эксперимента в нашем случае показывает, что возможное максимальное значение параметра критерия оптимизации (полнота фрезерования площади вокруг штамба плодового дерева) 98,4% достигается при следующих значениях основных параметров двухроторной фрезы: скорость передвижения двухроторной фрезы $V = 0,941$ м/с; глубина обработки почвы $h = 0,08$ м; угловая скорость вращения ротора $\omega = 33,06$ рад/с.

При скорости передвижения фрезерного агрегата $V = 0,941$ м/с и угловой скорости вращения роторов $\omega = 33,06$ рад/с, расхождения с теоретически полученными значениями данных показателей не превышает 7%. При этом обеспечивается полнота фрезерования более 95%, что показывает адекватность выбранной расчетной и конструктивно-кинематической схемы фрезы (рис. 3.10).

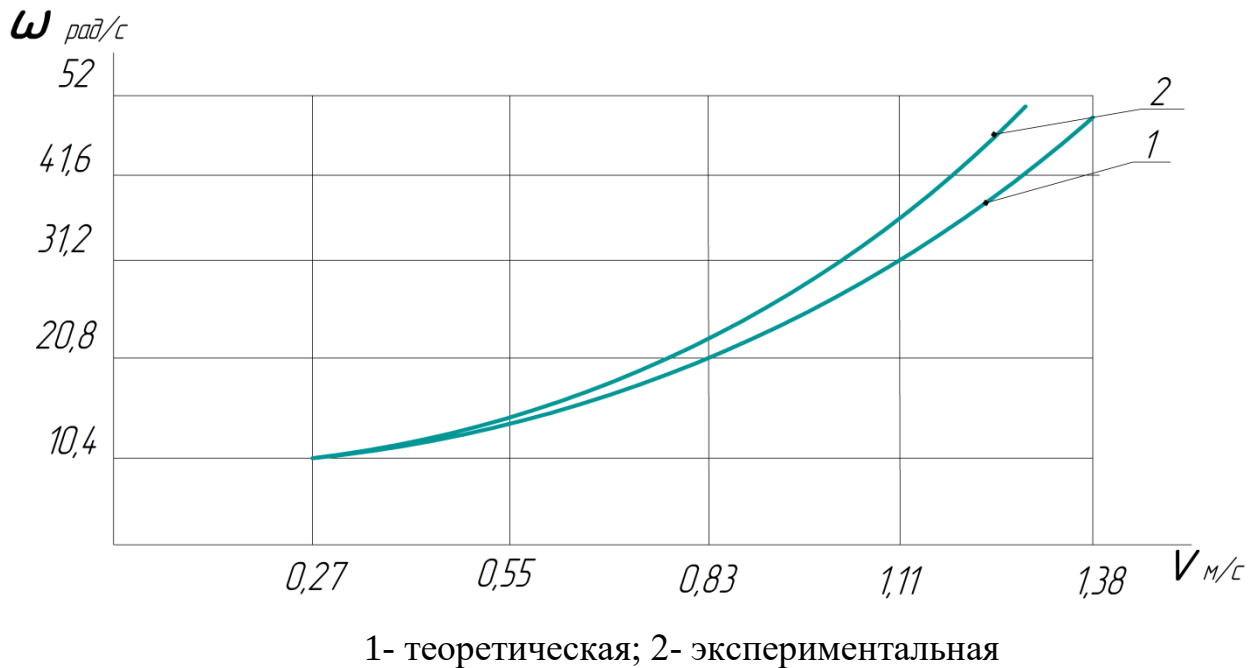


Рисунок 3.10 – Сравнительный график зависимости скорости передвижения агрегата V и угловой скорости вращения роторов ω фрезы при обеспечении полноты фрезерования вокруг штамба дерева более 95%

3.5. Результаты производственных испытаний двухроторной садовой фрезы

Проведенные теоретические исследования по проектированию конструкции, а также натурные испытания рабочих органов предлагаемой фрезы в полевых условиях позволили изготовить опытный образец машины (рис 3.11).

В период 2022-2024 годов опытный образец фрезы прошел испытание в реальных производственных условиях. Испытания проводились на склоновых землях в садах ООО Племенной совхоз "Кенже", а также на экспериментальных участках ФГБНУ «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного садоводства (г. Нальчик) (рис. 3.11 и 3.12) (Приложение I и II). Испытания проводились в полукарликовом саду, основные характеристики и параметры которых представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Параметры обрабатываемого сада

Показатели	Значения
Схема размещения, м	5х2
Возраст насаждений, лет	5-7
Средние размеры штамбов, м:	
Высота	0,4...0,6
Диаметр	0,08...0,11

Разработанная двухроторная садовая фреза агрегатировалась с трактором МТЗ-80 класса 1.4. Обработка почвы в ряду деревьев проводили на глубину 8 см.

В течение весенне-летнего периода в междурядьях сада проводилось двукратное боронование. Приствольные полосы суммарной шириной 0,8 м. не обрабатывались и в сечении наблюдали холмистый рельеф с шероховатостью до 3...6 см. К началу проведения испытаний засоренность садовой почвы в ряду достигала 460 шт/м.



Рисунок 3.11 – Опытный образец двухроторной фрезы



Рисунок 3.12 – Производственные испытания двухроторной садовой фрезы

В таблице 3.7 приводятся технико-эксплуатационные показатели двухроторной садовой фрезы (Приложение XIV). Проведенные производственные испытания показали, высокую работоспособность двухроторной садовой фрезы, кото-

рая обеспечивает ширину защитной полосы до 0,5 м с каждой стороны от штамба. Основные показатели качества ее функционирования полностью удовлетворяют агротехническим требованиям, предъявляемым к машинам для механической обработки почвы.

3.6. Выводы по главе

1. Разработана и изготовлена экспериментальная лабораторная установка для исследования конструктивно-технологических параметров двухроторной садовой фрезы.

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

3. Изготовлен опытный образец двухроторной садовой фрезы для проведения производственных испытаний.

4. Результаты исследований позволили разработать математические модели и построить поверхности отклика, описывающие зависимость полноты фрезерования площади вокруг штамба плодового дерева от скорости передвижения двухроторной фрезы, угловой скорости вращения ротора и глубины обработки почвы. Оптимальные значения этих параметров составили: скорость передвижения двухроторной фрезы – $V = 0,941$ м/с, глубина обработки – $h = 0,08$ м, угловая скорость вращения ротора – $33,06$ рад/с. При этих значениях полнота фрезерования площади вокруг штамба плодового дерева достигает 98,4%.

5. Экспериментальными исследованиями установлено, что при механической обработке приствольной зоны разработанной поворотной фрезерной секцией допустимые параметры защитной зоны вокруг штамба по ряду деревьев достигаются при соотношении окружной скорости ротора и поступательной агрегата $K = 5,2$. Оптимальный угол установки фрезерных ножей на фланцах составляет 30° , при обеспечении минимальной энергоемкости процесса.

6. Расхождение между оптимальными экспериментальными значениями скорости передвижения фрезерного агрегата $V = 0,941$ м/с и угловой скоростью

вращения роторов $\omega = 33,06$ рад/с, обеспечивающими полноту фрезерования приштамбовой зоны более 95%, и теоретическими значениями V и ω не превышает 7%.

7. Проверка опытного образца предлагаемой двухроторной садовой фрезы в производственных условиях показала высокую полноту фрезерования площади приствольного круга и полосы за один проход вдоль линии ряда, удовлетворяющая агротехническим требованиям.

4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДВУХРОТОРНОЙ САДОВОЙ ФРЕЗЫ

4.1. Экономическая эффективность результатов исследований

При определении основных показателей экономической эффективности проводилось сравнение схожих по основным условиям экспериментальных исследования производительности широко используемого в промышленных садах агрегата, состоящего из трактора МТЗ-80 с фрезой ФА- 0,76 (типовой серийный) с агрегатом, состоящим из того же трактора МТЗ-80 и предлагаемым опытным образцом двухроторной садовой фрезой (пат. № 214799).

Сравнительный анализ производился по основным параметрам определения экономической эффективности. Для определения основных параметров производительности серийного агрегата ФА-0,76 использовались результаты ранее проведенных экспериментальных исследований, приведенных в работе Г.Г Пархоменко [80]. Исследования показали, что стандартные фрезы, разработанные для равнинных условий земледелия, демонстрируют низкую эффективность в садоводстве на склоновых землях. Это связано с тем, что в условиях террасированных склонов невозможен подход со стороны террасы для обработки.

Предлагаемая нами фреза по пат. № 214799 обрабатывает всю площадь вокруг штамба дерева, включая зону со стороны террасы, что является существенным преимуществом по основным показателям технологичности данного образца.

Технико-экономические показатели рассчитывали по соответствующим методическим указаниям [34,80], также использовались нормативные данные из справочной литературы и расчетным путем. Расчеты произведены в ценах 2024 года. Исходные параметры для расчетов приведены в таблице 4.1(Приложение XV).

Производительность агрегата за час чистого рабочего времени:

$$W_p = 0.1 \cdot B \cdot V, \text{га/ч}, \quad (4.1)$$

где B – ширина захвата, м; V – средняя рабочая скорость, км/ч.

Производительность агрегата за час сменного времени:

$$W = 0,1 \cdot B \cdot V \cdot E, \text{ га/ч}, \quad (4.2)$$

где E – коэффициент использования времени одной смены.

Производительность за одну смену:

$$W_c = W \cdot T, \text{ га/см}, \quad (4.3)$$

где T – время одной смены, ч.

Годовая выработка агрегата:

$$W_G = W \cdot T_M, \text{ га}, \quad (4.4)$$

где T_M – годовая загрузка одной машины, ч.

Рост производительности агрегата:

$$W_{\%} = \frac{(W_2 - W_1)}{W_1} \cdot 100\%, \quad (4.5)$$

где W_1, W_2 – производительность агрегата за один час сменного времени серийной и экспериментальной, соответственно.

Основными параметрами экономической эффективности при производстве сельхозпродукции приняты производительность труда и трудоемкость производства.

Тогда производительность труда будет:

$$P_m W_c / L, \text{ га/чел. ч.}, \quad (4.6)$$

где W_c – производительность машины за одну смену, га; L – число персонала.

Тогда повышение производительности труда:

$$P_{mp} = \frac{P_{m_2}}{P_{m_1}}. \quad (4.7)$$

Затраты трудовых ресурсов на 1 га (трудоемкость операции)

$$T_G = \frac{L}{W_c}, \text{ чел. } \frac{\text{ч}}{\text{га}}. \quad (4.8)$$

Снижения трудоемкости работ:

$$T_{G\%} = \frac{(T_{G_1} - T_{G_2})}{T_{G_1}} \cdot 100 \%. \quad (4.9)$$

Годовая экономия трудозатрат:

$$T_E = (T_{G_1} - T_{G_2}) \cdot W_{G_2, \text{чел.ч.}} \quad (4.10)$$

В тех случаях, когда технико-экономические показатели, данные по трудоемкости и производительности трудовых затрат не позволяют произвести полную оценку эффективности сравниваемых агрегатов, пользуются таким показателем как эксплуатационные затраты.

В нашем случае используем прямые затраты в отношении к единице произведенной работы. Тогда получим:

$$Z_E = Z_G + A + O + G + P, \frac{\text{руб}}{\text{га}}, \quad (4.11)$$

где Z_E – прямые производственные затраты при выполнении одной единицы работы, руб.; Z_G – оплата произведенного труда на 1 га, руб.; A – размер амортизационных отчислений, приходящих на 1 га, руб.; O – размер отчисления на текущий ремонт и обслуживание на 1 га, руб.; G – размер затрат на горючее и смазочные материалы приходящиеся на 1 га, руб.; P – иные прочие прямые затраты, руб.

$$Z_G = \frac{Z_0}{W_c}, \text{руб.}; \quad (4.12)$$

где Z_0 – размер оплата труда за одну смену, руб.;

W_c – производительность машины за смену, га.

$$A = \frac{(B_M \cdot N \cdot A_M + B_T \cdot A_T \cdot T_M / T_T)}{W_G \cdot 100}, \frac{\text{руб}}{\text{га}}; \quad (4.13)$$

где B_M, B_T – стоимость балансовая фрезы и трактора, руб.; A_M, A_T – нормы, составляющие амортизационные отчисления в течение года в процентах от стоимости балансовой машины и трактора, %; T_M, T_T – годовая загрузка фрезы и трактора, ч; N – количество машин в одном агрегате.

$$O = \frac{(B_M \cdot N \cdot O_M + B_T \cdot O_T \cdot T_M / T_T)}{W_G \cdot 100}, \text{руб/га}, \quad (4.14)$$

где O_M, O_T – нормы отчислений на текущий ремонт и обслуживание в процентах за год от стоимости балансовой машины и трактора, %.

$$G = U_T \cdot C, \text{руб/га}; \quad (4.15)$$

где U_T – расход топлива приходящийся на один гектар, кг/га.; C – средняя цена 1 кг дизтоплива на данном этапе, руб.

$$P = (Z_G + A + O + G) \cdot 0,04, \text{ руб/га.} \quad (4.16)$$

Удельная экономия прямых эксплуатационных затрат:

$$E_Z = Z_{E_1} - Z_{E_2}, \text{ руб/га.} \quad (4.17)$$

Степень снижения эксплуатационных затрат:

$$E = \frac{Z_{E_1} - Z_{E_2}}{Z_{E_1}} \cdot 100 \%; \quad (4.18)$$

Сезонная экономия эксплуатационных затрат:

$$E_{ZG} = E_Z \cdot W_{G_2}, \text{ руб.} \quad (4.19)$$

Удельные капиталовложения на единицу работы:

$$K_U = \frac{B_M \cdot N + B_T \cdot T_M / T_T}{W_G}, \frac{\text{руб}}{\text{га}}; \quad (4.20)$$

Тогда срок окупаемости дополнительных капитальных вложений:

$$T_{од} = B_M / E_{ZG}, \text{ лет.} \quad (4.21)$$

Коэффициент эффективности капиталовложений:

$$K_{эк} = \frac{1}{T_{од}}. \quad (4.22)$$

Данный показатель характеризует размер экономии денежно-материальных средств на рубль капиталовложений.

Результаты расчетов представлены в таблице 4.2 (Приложение XVI)

4.2. Выводы по главе

1. Использование предлагаемой двухроторной садовой фрезы в технологическом процессе по уходу за приствольными полосами плодовых насаждений в террасном садоводстве позволило повысить производительность в 1,8 раза, снизить эксплуатационные затраты в 2,9 раза, при этом получить годовой экономический эффект в размере 7,4 тыс. руб./га. Срок окупаемости составил 0,54 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

1. На основании проведенного анализа технических средств для механической обработки приствольных полос плодовых насаждений, разработана конструктивно-технологическая схема двухроторной садовой фрезы, обеспечивающая качественную обработку приствольной полосы плодовых насаждений за один проход при движении вдоль линии ряда в условиях террасного садоводства. Новизна технических решений подтверждена 4 патентами РФ на полезные модели (№206892, №214799, №184892, №222230).

2. Получены аналитические зависимости, позволяющие определить основные конструктивные параметры и режимы работы двухроторной садовой фрезы, обеспечивающие полноту фрезерования площади приштамбовой зоны плодовых насаждений: диаметры роторов и предохранительных колес, угол установки поворотной балки фрезы, траекторию движения, кинематический режим работы, частоту вращения роторов (от 150 до 350 мин⁻¹), жесткость пружины ($c_2 \leq 1730$ Н/м), скорость движения (от 0,55 до 1.66 м/с), затраты мощности на привод фрезерного рабочего органа, а также пределы изменения этих параметров.

3. Разработан метод расчета динамической устойчивости сложного ротора, учитывающий распределение массы вала, переменную жесткость, упругое зажатие в опорах, массу установленных дисков, их гироскопические свойства, эксцентricность посадки дисков и сосредоточенные внешние нагрузки. Первое критическое значение угловой скорости роторов фрезы составляет 608 рад/с.

4. В результате проведенных экспериментальных исследований были определены оптимальные параметры скорости передвижения двухроторной фрезы – 0,941 м/с, глубины обработки – 0,08 м, угловой скорости вращения ротора фрезы – 33,06 рад/с, обеспечивающих полноту фрезерования площади вокруг штамба плодового дерева - 98,4%. Производственное испытание опытного образца двухроторной садовой фрезы показало высокую полноту фрезерования площа-

ди приштамбовой зоны и приствольной полосы плодовых насаждений за один проход вдоль линии ряда, удовлетворяющее основным требованиям по обработке.

5. Расхождение между оптимальными экспериментальными значениями скорости передвижения фрезерного агрегата $V = 0,941$ м/с и угловой скоростью вращения роторов $\omega = 33,06$ рад/с, обеспечивающими полноту фрезерования приштамбовой зоны более 95%, и теоретическими значениями V и ω не превышает 7%.

6. Использование предлагаемой двухроторной садовой фрезы в технологическом процессе по уходу за приствольными полосами плодовых насаждений в террасном садоводстве позволило повысить производительность в 1,8 раза, снизить эксплуатационные затраты в 2,9 раза, при этом получить годовой экономический эффект в размере 7,4 тыс. руб./га. Срок окупаемости 0,54 года.

Рекомендации производству

Предложенные в работе конструкция двухроторной садовой фрезы и метод динамической устойчивости ротора могут быть использованы конструкторскими организациями при разработке фрез для приствольной обработки полос плодовых насаждений в промышленных садах суперинтенсивного типа.

Перспективы дальнейшей разработки предлагаемой темы

Совершенствование механизма обхода штамба позволит выполнить разработку фрез для приствольной обработки полос плодовых насаждений в луговых и колоновидных садах, имеющих очень высокую плотность посадки саженцев - по типу питомника (70–90 x 20-30 см).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
2. Алиев, Т.Г. Результаты изучения перспективных систем содержания почвы в интенсивных садах семечковых культур / Т.Г. Алиев, А.А. Соломахин, М.В. Придорогин [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 2. – С. 24-26.
3. Алехин, С.Д. Состояние и перспективы разработки устройств для обработки почвы в межствольных полосах сада / С.Д. Алехин, А.Д. Засыпкин, В.И. Горшенин, К.А. Манаенков // Научное обеспечение агропромышленного комплекса в условиях перехода к рыночным отношениям: Тез. докл. науч. конф. 12 - 15 апреля 1994 г. - Мичуринск, 1994. - С. 182-184.
4. Андрианова, Г.П. Влияние системы содержания почвы в саду на почвенное плодородие и урожай яблони / Андрианова Г.П. – Алма-Ата: Кайнар, 1972. – С. 84-95.
5. Аниферов, Ф.Е. Машины для садоводства / Ф.Е. Аниферов, Л.И. Ерошенко, И.З. Теплинский. – Л.: Агропромиздат, 1990. – 304 с.
6. Апажев, А.К. Комплекс технологий и технических средств возделывания сельскохозяйственных культур в системе органического земледелия с использованием инновационных биологических средств защиты, методов мелиорации и экологизации / А.К. Апажев, Ю.А. Шекихачев, Л.М. Хажметов, Е.А. Полищук [и др.]. - Нальчик, 2020. – 216 с.
7. Апажев, А.К. Инновационные технологические и технические решения по повышению плодородия почв в условиях склоновых эродированных черноземных почв Юга России / А.К. Апажев, Ю.А. Шекихачев, Л.М. Хажметов, Р.Х. Кудаев, А.Л. Хажметова [и др.]. - Нальчик: КБГАУ, 2018. – 264 с.
8. Апажев, А.К. Высокопродуктивные и экологически чистые технологии и технические средства по уходу за плодовыми насаждениями в горном садоводстве

Кабардино-Балкарской Республике / А.К. Апажев, Ю.А. Шекихачев, Л.М. Хажметов, Р.Х. Кудаев, А.Л. Хажметова, Егожев А.А. [и др.]. - Нальчик: КБГАУ, 2022. – 187 с.

9. 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.

10. Апажев, А.К. Фреза для горного и предгорного садоводства / А.М. Егожев, А.К. Апажев, Е.А. Полищук, А.А. Егожев // Сельский механизатор: науч. - произв. журн.- 2021. № 12. - С. 10 - 12.

11. Апажев, А.К. Mathematical model for calculating the parameters of machines for processing near-trunk strips in a terrace (Scopus)/ А.К. Апажев, А.М. Егожев, Е.А. Полищук, А.А. Егожев // International Scientific and Practical Conference “Innovative Technologies in Environmental Engineering and Agroecosystems” (ITEEA 2021). Nalchik, Russian Federation, March 18-19, 2021.

12. Апажев, А.К. Двухроторная фреза для террасного садоводства / А.М. Егожев, А.К. Апажев, Е.А. Полищук, А.А. Егожев // Сельский механизатор: науч. - произв. журн.- 2022. № 4. - С. 10 - 12.

13. Арнаут, В. Разработка кинематической схемы для выдвижного рабочего органа почвообрабатывающих машин в многолетних насаждениях / В. Арнаут // [Электронный ресурс] <http://dspace.uasm.md> URL: /bitstream/ handle /12356789/3694/Vol45128-33.pdf?sequence=1&isAllowed (дата обращения 15.06.2017 г.)

14. Артоболевский, И. И. Теория механизмов и машин / Артоболевский И. И. // - М.: Наука. 1988. - 640 с.

15. Бать, М.И. Теоретическая механика в примерах и задачах: в 2 т. / М.И. Бать, Г.Ю. Джанелидзе, А.С. Кельзон. - М.: Наука, 1972. - Т. 2. - 624 с.

16. Бакуев, Ж.Х. Освоение склонов Северного Кавказа под интенсивные сады / Ж.Х. Бакуев // Матер. Всеросс. науч.конф., «Генезис, география, классификация почв и оценка почвенных ресурсов». - Архангельск, 2010. – С.247-250.

17. Бакуев, Ж.Х. Интенсификация садоводства КБР путем создания оптимальных типов и конструкций плодовых насаждений короткого цикла эксплуатации / Ж.Х. Бакуев // Сборник завершенных научных работ в области АПК, рекомендуемых для внедрения в производство. – Нальчик 2006. – С.38-40.

18. Бакуев, Ж.Х. Интенсификация возделывания груши в предгорьях КБР / Ж.Х. Бакуев, А.В. Сатибалов, А.В. Канаметов // Матер. Междунар. НПК «Новации в горном и предгорном садоводстве» - Нальчик, 2011. - С.9-12.

19. Бакуев, Ж.Х. Интенсификация садоводства в предгорьях Северного Кавказа / Бакуев Ж.Х. – Нальчик, 2012. – 369с.

20. Балкаров, Р.А. Ресурсосберегающие технологии и средства механизации механизированного ухода за плодовыми деревьями на террасированных склонах / Р.А. Балкаров // Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. – М., 2004. – 36 с.

21. Балкаров, Х.Ж. Новая технология террасирования склонов под сады / Х.Ж. Балкаров // Сб. научных трудов СКНИИГПС.- Нальчик, 1990. – Вып. 11. – С.58-69.

22. Белоусов, С.В. Анализ способов и технических средств для обработки приствольных полос в садах / Белоусов С.В., Бойко А.А., Бабенко О.С., Харченко А.А., Пасечников А.Д. // Сб. тр. VII Междунар. науч.-практ. конф. "Инновационные технологии в науке и образовании" ("ИТНО-2019"), посвящ. 90-летию ДГТУ (РИСХМ), Дон. гос. техн. ун-т. - Ростов-на-Дону, 2019. – С. 308-312.

23. Биргер, И.А. Прочность, устойчивость, колебания. Т.2 / И.А. Биргер, Я.П. Пановко. - М.: Машиностроение, 1968. - 463 с.

24. Босой, Е.С. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин / Е.С. Босой, О.В. Верняев, И.И. Смирнов [и др.].- М.:Машиностроение,1977.-568 с.

25. Варламов, Г.П. Машины для уборки фруктов / Г.П. Варламов. – М.: Машиностроение, 1978. - 216 с.

26. Воробьев, Л.И. Исследование и опыт проектирования садового культиватора / Л.И. Воробьев // Почвообрабатывающие машины. - 1949. - № 4. - С. 14-18.
27. Вознесенский, В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В.А. Вознесенский, Н.А. Чернова. - М.: Статистика, 1974. - 192 с.
28. Вучков, И.С. Прикладной регрессионный анализ / И.С. Вучков, Л.Д. Бояджиева, Е.Н. Солаков. – М.: Финансы и статистика, 1987. – 239 с.
29. В Кабардино-Балкарии собран рекордный урожай плодов и ягод [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://pravitelstvo.kbr.ru> URL: https://pravitelstvo.kbr.ru/oigv/minselhoz/index.php?ELEMENT_ID=33204 (дата обращения: 28.01.21).
30. Гасанов, М.М. Фрезерная обработка почвы с обходом кустов в фундучных садах: дис. ... канд. техн. наук 05.20.01. - Кировабад, 1984. –178 с.
31. Герасимов, Н.И. Обработка межствольных полос в садах / Н.И. Герасимов, Я.З. Жилицкий [и др.] // Технология, организация и механизация интенсивного садоводства: Сб. науч. тр. ВНИИС им. И.В. Мичурина. - Мичуринск, 1979.- Вып. 28.-С. 149.
32. Горное и предгорное садоводство требует кластерного подхода [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://nalchik.bezformata.com/listnews/gornoe-i-predgornoe-sadovodstvo/48751567/> (дата обращения: 28.01.21).
33. ГОСТ Р. 54783- 2011 Испытания сельскохозяйственной техники. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2020. – 20 с.
34. ГОСТ 20915-2011 Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний - М.: Стандартинформ, 2020. - 24 с.
35. ГОСТ 53056-2008 Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – М.: Стандартинформ, 2009. – 20 с.

36. Градштейн, И.С. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений / Градштейн И.С., Рыжик И.М. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1963 г. - 1100 с.

37. Грязев, В.А. Системы содержания почвы в промышленных садах / В.А. Грязев, В.А. Потапов // Садоводство. - 1984. - № 6. - С. 11-13.

38. Далин, А.Д. Ротационные почвообрабатывающие и землеройные машины / А.Д. Далин, П.В. Павлов. -М.: Машгиз, 1950. - 258 с.

39. Джашеев, К.А. Номограммный метод анализа результатов многофакторного эксперимента / К.А.Джашеев, З.А. Джашеева // Успехи современного естествознания. - М. - 2008. - № 8 - С. 19-28.

40. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в науке и технике. Методы обработки данных / Н. Джонсон, Ф. Лион. - М.: Мир, 1980. - 610 с.

41.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.

42. Егожев, А.А. Исследование процесса взаимодействия предохранительных колес вертикальных фрез со штаблом дерева/ А.К. Апажев, А.М. Егожев, Е.А Полищук, А.А. Егожев, Н.А.Алиев // Известия КБГАУ: науч. - практ. журн.- 2023. № 3. - С.126 - 130.

43 . Егожев, А.А. Машина для обработки приствольных полос интенсивного сада на склоновых землях / А.К. Апажев, А.М. Егожев, Е.А. Полищук, А.А. Егожев Н.А. Алиев // Сельский механизатор: науч. - произв. журн.- 2024. № 6. - С.12 - 14.

44. Жилицкий, Я.З. Исследование фрезы садовой с вертикальной осью вращения / Я.З. Жилицкий, Н.И. Герасимов // Изучение и усовершенствование пропашных фрез и культиваторов: Матер. НТС ВИСХОМ. - 1965. — Вып. 20. -С. 121-133.

45. Завражнов, А.И. Проблемы и пути механизации обработки почвы в интенсивных садах / А.И. Завражнов, К.А. Манаенков // Интенсивное садоводство: Матер, науч.-практ. конф. – Мичуринск, 2000. – Ч. 2. – С.8-13.

46. Завражнов, А.И. Энергосберегающая технология и комплекс машин для обработки почвы в интенсивных слаборослых садах: учебное пособие / А.И. Завражнов, К.А. Манаенков. – Мичуринск, 2002. – 105 с.

47. Завражнов, А.И. Обоснование параметров и режимов работы вертикальных фрез для обработки междовольных полос в садах / А.И. Завражнов, К.А. Манаенков // Сельскохозяйственное производство и высшая школа на переломном этапе реформирования: Матер, обл. науч.-практ. конф. 21-22 мая 1996 г. - Мичуринск, 1996. - Сб. 2. - Ч. 2. - С. 70-71.

48. Завражнов, А.И. Обработка междовольных полос в садах поворотной секцией с вертикально-роторными рабочими органами: Рекомендации к НТС МСХиП РФ / А.И. Завражнов, К.А. Манаенков, А.Д. Засыпкин. - Мичуринск, 1996.- 13 с.

49. Завражнов, А.И. Энергосберегающая технология и комплекс машин для обработки почвы в интенсивных слаборослых садах: Учебное пособие / А.И. Завражнов, К.А. Манаенков. - Мичуринск, 2002. - 105 с.

50. Зангаладзе, Д.Я. Исследование почвообрабатывающих фрезерных рабочих органов с вертикальной осью вращения в междурядьях виноградников орошаемой зоны Грузии: Автореф. дис. ... к. т. н. / Д.Я. Зангаладзе. - Тбилиси, 1974.- 18 с.

51. Инакян, С.А. Механико-технологическое обоснование параметров вертикально-роторной почвообрабатывающей машины: Дис. на соиск. уч. степ, к. т. н. / С.А. Инакян. -М., 1982. - 172 с.

52. Камбулов, С.И. Влагообеспеченность обрабатываемого слоя почвы при различных технологиях возделывания / С.И. Камбулов, В.Б. Рыков, В.В. Колесник [и др.] // Инновации в сельском хозяйстве. – 2017. - №4 (25). – С.222-227.

53. Камбулов, С.И. Влияние технологии обработки почвы на влагообеспеченность обрабатываемого слоя / С.И. Камбулов, В.Б. Рыков, Е.И. Трубилин [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2018. – №135. – С.50-57.

54. Камбулов, С.И. Энергетическая оценка комбинированного орудия для обработки почвы в садах / С.И. Камбулов, А.В. Пономарев // «Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса» сборник научных трудов XXII Международной научно-практической конференции в рамках XXII Агропромышленного форума юга России и выставки «Интерагромаш». Донской госу- дар. техн. университет. Аграрный научный центр «Донской». – Ростов-на-Дону. - 2019. - С.317-320.

55. Канарёв, Ф. М. Ротационные почвообрабатывающие машины и ору- дия/ Ф. М. Канарёв // - М.: Машиностроение, 1983.- 142 с.

56. Коноплев, В.К., Тарасенко, Б.Ф. Инновационное средств борьбы с сорняками //В сборнике: Приоритетные направления инновационного развития транспортных систем и инженерных сооружений в АПК: материалы международ- ной студенческой научно-практической конференции. 2021. С. 168-172.

57. Котысько, В. И. Виброударный штамбовый стряхиватель плодов / Котысько В. И. // дисс. ... к.с/х.н.: Москва, 1998 - 168 с.

58. Кузнецов, Г.Я. Механизация обработки почвы многолетних насажде- ний [Электронный ресурс] / Плодоводство и виноградарство Юга России. 2016, № 39 - С. 68-76. URL: <http://journalkubansad.ru/pdf/16/03/07.pdf>. (дата обращения: 15.01.2021).

59. Кутейников, В. К. Механизация работ в садоводстве / В. К. Кутейников, Н. П. Лосев, А. В. Четвертаков и др. М.: Колос, 1983. - 319 с.

60. Лобачевский, Я.П. Развитие технических средств для возделывания многолетних насаждений в садоводстве России и Беларуси [Электронный ресурс] / Я.П. Лобачевский, И.Г. Смирнов, А.Н. Юрин, Д.О. Хорт, Р.А. Филиппов// - Ре- жим доступа: <http://belagromech.by/docs/sado.pdf> (дата обращения: 25.04.2018).

61. Лучков, П.Г. Освоение склонов под промышленную культуру яблони / П.Г. Лучков. – Нальчик: Эльбрус, 1976. – 186 с.
62. Лучков, П.Г. Садоводство на склонах / П.Г. Лучков, Л.А. Шомахов. – М.: Россельхозиздат, 1985. – 150 с.
63. Лучков, П.Г. Мульчирование почвы в молодых садах на склонах / П.Г. Лучков, Г.А. Пономаренко, Р.Х. Кудяев // Садоводство и виноградарство. – 1989. – №4. – С.28-30.
64. Львин, Н.С. Технология выращивания плодовых культур на склонах Молдавии. – Кишинев: Штиница, 1986. – 125 с.
65. Майоров, Ю.И. Потери от водной эрозии почв в сельском хозяйстве и пути их снижения. – Воронеж, 1991. – 192 с.
66. Макаров, А.Н. Исследование и обоснование рациональных геометрических и режимных параметров рабочих органов для обработки почвы приствольных кругов: Автореф. дис.... канд. техн. Наук 05.20.01. – Краснодар, 1973. – 26 с.
67. Манаенков, К.А. Защитная зона рядов яблонь при обработке почвы в интенсивных садах / К.А. Манаенков // Садоводство и виноградарство. – 2000. – № 3. – С.7-8.
68. Манаенков, К.А. Обоснование параметров вертикальной фрезы для обработки межствольных полос в интенсивных садах / К.А. Манаенков // Повышение эффективности агропромышленного производства в условиях современных форм хозяйствования: Тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. – Воронеж, 1995. – Ч. 2. – С. 164-165.
69. Манаенков, К.А. Ресурсосберегающие технологии и комплекс машин для ухода за почвой в интенсивных садах / Манаенков Константин Алексеевич // Автореф. дисс. доктор техн. наук: 05.20.01. – Мичуринск-наукоград, 2010. – 38с.
70. Манаенков, К.А. Обоснование угла наклона лопасти ножа ротационного режущего аппарата с вертикальной осью вращения / К.А. Манаенков, В.В. Хатунцев // Роль науки в повышении устойчивости функционирования АПК Тамбов-

ской области: Матер, науч.-практ. конф. 17...18 ноября 2004 г. – Мичуринск: Изд. Мич ГАУ, 2004. - Т. 3. - С. 201-204.

71. Манаенков, К.А. Применение математического моделирования при исследовании процесса обработки почвы в ряду деревьев поворотной фрезерной секцией / К.А. Манаенков. - Мичуринск, 1997. - 9 с. - Деп. в ВНИИТЭИ агропром 31.03.97, № 65ВС-97.

72. Манаенков, К.А. Численное моделирование обработки почвы в ряду деревьев поворотной секцией с вертикально-роторными рабочими органами / К.А. Манаенков // Пути повышения устойчивости садоводства: Сб. науч. тр. ВНИИС им. И.В. Мичурина. - Мичуринск, 1998. - С. 238-242.

73. Машины для механизации работ в садоводстве: Каталог техники / Под общей ред. И.М. Куликова. - М., 2005. - 120 с.

74. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рощин // - Л.: Колос, 1972. - 199 с.

75. Мирзоев, М.М. Горное садоводство Узбекистана / М.М. Мирзоев. – Ташкент, 1982. - 200 с.

76. Минсельхоз РФ: темпы закладки садов в КБР вдвое превышают показатели по стране [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://tass.ru/v-strane/9342469> (дата обращения 01.10.2020 г.)

77. Мостовский, В.Б. Исследование процесса обработки приствольных полос в интенсивных садах вертикальными фрезами и обоснование типов и параметров их рабочих органов: Дис. ... к. т. н. 05.20.01 / В.Б. Мостовский. - Кишинев, 1980. - 206 с.

78. Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации [Указ Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20] :[Электронный ресурс] / Гарант - Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73338425/> (дата обращения 22.03.2020 г.)

79. Обзор промышленного садоводства на юге России / <https://agbz.ru> / URL: <https://agbz.ru/news/obzor-promyishlennogo-sadovodstva-na-yuge-rossii/> (дата обращения: 07.08.19).

80. Пархоменко, Г.Г. Совершенствование технологического процесса обработки почвы в рядах многолетних насаждений/ Г.Г. Пархоменко // дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. – зерноград, 2000. – 192 с.

81. Патент № 2412569 С1 Российская Федерация, МПК А01В 13/16. Машина для обработки приствольных полос в саду / В.Г. Бросалин, К.А. Манаенков; заявитель ФГОУ ВПО «Мичуринский ГАУ», ООО «НПЦ«ТехноСад»; № 2009132273/21: заявл.26.08.2009; опубл. 27.02.2011.

82. Патент № 2137327 С1 Российская Федерация, МПК А01В 39/16. Машина для обработки межствольных полос в саду/ А.И. Завражнов, А.Н. Манаенков, В.Г. Бросалин, К.А. Манаенков: заявитель Мичуринская государственная сельскохозяйственная академия; № 98111266/13: заявл. 09.06.1998; опубл. 20.09.1999.

83. Патент № 2348133 С1 Российская Федерация, МПК А01В 39/16, А01В 33/06. Почвообрабатывающая фреза для обработки приствольных полос в садах / Е.И. Трубилин, В.И. Коновалов; заявитель ФГБОУ ВПО «Кубанский ГАУ»: № 2008102169/12: заявл. 21.01.2008; опубл. 10.03.2009.

84. Патент № 2350060 С1 Российская Федерация, МПК А01В 39/16. Машина для обработки приствольных полос в саду / В.Г. Бросалин, К.А. Манаенков; заявитель ФГОУ ВПО «Мичуринский ГАУ», ООО «НПЦ«ТехноСад»: № 2007127047/12: заявл. 16.07.2007; опубл. 27.03.2009.

85. Патент № 2326516 С2 Российская Федерация, МПК А01В 39/16. Машина для обработки приствольных полос в саду / В.Г. Бросалин, К.А. Манаенков; заявитель ФГОУ ВПО «Мичуринский ГАУ»: № 2006113259/12: заявл. 19.04.2006; опубл. 20.06.2008.

86. Патент № 2374801 С1 Российская Федерация, МПК А01В 39/16, А01В 33/06. Почвообрабатывающая фреза для обработки приствольных полос в садах / Е.И. Трубилин, А.И. Трубилин, С.М. Сидоренко, В.И. Коновалов; заявитель

ФГБОУ ВПО «Кубанский ГАУ».: № 2008110250/12: заявл. 17.03.2008; опубл. 10.12.2009.

87. Патент № 2405292 С1 Российская Федерация, МПК А01В 39/16. Машина для обработки приствольных полос в саду / В.Г. Бросалин, К.А. Манаенков; заявитель ФГБОУ ВПО «Мичуринский ГАУ», ООО «НПЦ«ТехноСад».: № 2009120825/21: заявл. 01.06.2009; опубл. 10.12.2010.

88. Патент 197353 Российская Федерация МПК А01В 13/04. Многофункциональный агрегат для обработки почвы междурядий садов и виноградников / И.Н. Фуаад, Б.Ф. Тарасенко, А.В. Зубко, К. Х. Ибрагим; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО "Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина"; 2019140705, заявл. 09.12.2019; опубл. 22.04.2022.2020.04.22.

89. Патент № 101324 U1 Российская Федерация, МПК А01М 21/00. Огневой культиватор для обработки сорных растений в приствольных полосах сада / А.В. Пустовалов, А.К. Шиповский, В.С. Пустовалов; патентообладатель А.В. Пустовалов: № 2010132006/15; заявл. 29.07.2010; опубл. 20.01.2011

90. Патент № 206892 U1 Российская Федерация, МПК А01В 39/16. Фреза для обработки приствольных полос интенсивного сада/ А.М. Егожев, А.К. Апажев, Е.А. Полищук, А.А. Егожев; заявитель ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский ГАУ им. В.М. Кокова»: № 2021109828: заявл. 08.04.2021; опубл. 30.09.2021.

91. Патент № 214799 U1 Российская Федерация, МПК А01В 39/20, А01В 39/26. Фреза для террасного сада/ А.М. Егожев, А.К. Апажев, А.А. Егожев [и др.]; заявитель ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский ГАУ им. В.М. Кокова»: № 2022115620: заявл. 08.06.2022; опубл. 15.11.2022

92. Патент № 184892 U1 Российская Федерация, МПК А01В 39/16. Фреза для приствольной полосы / А.М. Егожев, Е.А. Полищук, А.А. Егожев; заявитель ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ.: № 2018122520: заявл. 19.06.2018: опубл. 13.11.2018.

93. Патент № 222230 U1 Российская Федерация, МПК А01В 39/16. Комбинированная садовая фреза/ А.М. Егожев, А.К. Апажев, Е.А. Полищук, А.А.

Егожев [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский ГАУ им. В.М. Кокова»: № 2023120291: заявл. 01.08.2023: опубл. 15.12.2023.

94. Петросян, К.Г. Обоснование технологии и рациональной схемы устройства с равномоментным ножом для обработки почвы межствольных полос в интенсивных садах / Петросян К.Г. // дисс. ... канд. техн. наук: 05.20.01. – Ереван, 1984. – 154 с.

95. Пилюгин, Л.М. Механизация обработки приствольных полос / Пилюгин Л.М., Денисов А.М // Садоводство. – 1966. – № 5. – С. 19-20.

96. Площадь плодово-ягодных садов в КБР шесть лет увеличилась в 1,5 раза [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://tass.ru/ekonomika/12619515> (дата обращения: 12.03.2020)

97. Постановление Правительства РФ от 14 июля 2012 г. N 717 "О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013 - 2020 годы" / <https://www.garant.ru/> URL <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70110644/> (дата обращения: 21.01.15).

98. Порфирюк, В.И. Некоторые преимущества обработки орошаемых почв активными вращающимися рыхлящими органами / В.И. Порфирюк // Сельское хозяйство Таджикистана. - 1966. - № 6. - С. 16-17.

99. Потапов, В. А. Содержание почвы в молодых садах при уплотненной посадке плодовых деревьев / Потапов В. А.//: Автореферат дис. ... к. с/х. н. – Ми-чуринск, 1968. – 21 с.

100. Потапов, В. А. Борьба с эрозией почв в промышленных садах / Потапов В. А. – М.: Росагропромиздат, 1990. – 123 с.

101. Пронь, А.С. Система машин для комплексной механизации садоводства и виноградарства / А.С. Пронь, В.А. Бондарев, И.М. Белянский // Система ведения сельского хозяйства в Краснодарском крае (Рекомендации). – Краснодар, 1986. – С. 218-223.

102. Пронь, А.С. Исследование и разработка технологических процессов и новых технических средств для садоводства /Пронь А. С.// Дисс. ... д-ра с./х. наук (в виде научного доклада). – Краснодар, 1996. – 53 с.

103. Райские сады на склоновых землях [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://nalchik.bezformata.com/listnews/rajskie-sadi-na-sklonovih-zemlyah/69534582/> (дата обращения: 12.03.2020).

104. Раузин, Е.Г. Сады на террасах / Раузин Е.Г. – Алма-Ата: Кайнар, 1983. – 138 с.

105. Резник, Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов / Н.Е. Резник. – М.: Машиностроение, 1975. – 311 с.

106. Рубин, С.С. Системы содержания почвы в садах / С.С. Рубин // Садоводство, виноградарство и виноделие Молдавии. – 1984. – №4. – С.6-11.

107. Рубцов, В.В. Содержание почвы в саду / Рубцов В.В., Рубцова Н.И. – Нальчик, 1969. - 88 с.

108.Сальников, С.В. Ротационная косилка для технологий залуженного содержания междурядий в многолетних насаждениях / Сальников С.В. // дисс. ...канд. техн. наук: 05.20.01. – Москва, 2000. – 111 с.

109 Сборник агротехнических требований на тракторы и сельскохозяйственные машины. – М., 1963. – Т. 2. – С. 295-297.

110. Сердечный, А.П. Механизация работ в садоводстве. - М.: Россельхозиздат, 1972. – С. 3-21.

111. Сизый, В.В. Воздействие щупа следящей системы на шпалерные столбы // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1984. – №10. – С. 35-38.

112. Синеоков, Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков, И.М. Панов. - М.: Машиностроение, 1977. - 328с.

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

114. Tarasenko, B.F, Kusa K.H., Dzjasheev A.M.[and others]. UPGRADED ROTARY HARROW FOR VINEYARDS // В сборнике: E3S WEB OF CONFERENCES. VIII International Conference on Advanced Agritechnologies, Environmental Engineering and Sustainable Development (AGRITECH-VIII 2023). EDP Sciences, 2023. – С. 06005.

115. Тарасенко, Б.Ф., Устройство для безотвальной обработки почвы / Б.Ф. Тарасенко, В.Д. Карпенко, С.А. Горовой, С.Н. Харченко // Сельский механизатор. –2022. –№ 1. – С. 14-15.

116. Тарасенко, Б.Ф. Универсальный почвообрабатывающий агрегат для малоземельных фермерских хозяйств / Б.Ф. Тарасенко, С.Г. Руднев, В.А. Дробот // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. –2021. – № 174. – С. 113-129.

117. Турбилин, Е.И. Совершенствование технологического процесса работы ротационного культиватора для обработки приствольных полос в садах: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Краснодар, 1985. - 20 с.

118. Турбин, Б.Г. Сельскохозяйственные машины / Б.Г. Турбин и др. – Л.: Машиностроение, 1967. - 578 с.

119. Турбилин, Е.И. Результаты анализа сил, действующих на рабочий орган ротационного культиватора / Е.И. Турбилин // Труды Кубанского СХИ. - Краснодар, 1985. - Вып. 256. - С. 38-45.

120. Финни, Д. Введение в теорию планирования экспериментов / Д. Финни. - М.: Наука, 1970. - 287 с.

121. Фомин, В.И. К расчету ротационного режущего аппарата / В.И. Фомин // Труды ВИСХОМ, Сб. 29. – М., 1962. – С.3-55.

122. Хажметов, Л.М. Анализ конструкций террас и способов их размещения на склоновых землях / Л.М. Хажметов, А.К. Езаов, А.С. Сасиков // международный научный журнал «Символ науки». 2016. – №2. – С. 88-90.

123. Хажметова, А.Л. Параметры и режимы работы агрегата для ухода за междурядьями и приствольными полосами плодовых насаждений / Хажметова А.Л. // дисс. ...канд. техн. наук: 05.20.01. – Нальчик, 2019. – 149 с.
124. Хорт, Д.О. Цифровые технологические и технические решения для интенсивного садоводства: Автореф. диссертации...д.т.н: специальность 05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства / Хорт Дмитрий Олегович. – М., 2022. – 44 с.
125. Цымбал, А.А. Исследование обработки почвы в приствольных полосах сада / А.А. Цымбал, А.В. Скачков // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2016. – №3. – С.180-187.
126. Шевчук, Р. С. Процессы и средства механизации съема плодов / Шевчук Р. С. // дисс. докт. с/х. наук: 05.20.01. – Москва, 2000. – 532 с.
127. Шекихачев, Ю.А. Механико-технологическое обоснование технических средств для ухода за почвой террасированных склонов в условиях горного садоводства (на примере Центральной части Северного Кавказа) / Шекихачев Юрий Ахметханович // Автореф. дисс. ... д-ра техн. наук: 05.20.01. – Краснодар, 2001. – 40 с.
128. Шекихачев, Ю.А. Исследование динамических процессов в системе "сельскохозяйственная машина - ствол плодового дерева" / Шекихачев Ю.А. // Механизация с/х производства: Сб. науч. тр. Ставроп. ГСХА. – Ставрополь, 1997. – С.64-66.
129. Шомахов, Л.А. Состояние и перспективы развития горного садоводства // Тез. докл. науч. конф. "Интенсификация садоводства на склонах".-Нальчик, 1994. - С. 3-6.
130. Шомахов, Л.А. Обоснование рационального способа содержания почвы в саду / Л.А. Шомахов, Ю.А. Шекихачев // Интенсификация садоводства: Сб. научных трудов СКНИИГПС. - Нальчик, 1995. - Вып. V. - С.3-11.

131. Шомахов, Л.А. Технологические и технические решения механизации возделывания плодовых культур на террасированных склонах / Шомахов Л. А. // Дисс... д-ра техн. наук (в виде научного доклада). – М., 1996. – 92с.
132. Шомахов, Л.А. Горному садоводству - современную адаптивную технологию // Тр. конф. "Экология горного садоводства". – Владикавказ, 1997. – С. 56-62.
133. 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.
134. Шомахов, Л.А. Агротехническая эффективность террасирования склоновых земель и мульчирования почвы в горном садоводстве / Л.А. Шомахов, Ю.А. Шекихачев, С.З. Каноков. – Нальчик: КБГСХА, 2002. – 48с.
- 135.Шутенко, А.В. Устройство для гидравлической прополки приствольных зон в садах интенсивного типа/ А.В. Шутенко, Д.О. Хорт //Техника и оборудование для села. –2024. – № 10(328). – С. 12-14.
136. Шутенко, А.В.Определение геометрических параметров струи воды в зависимости от вида форсунки и режима работы струи / А.В. Шутенко, Д.О. Хорт // Инженерные технологии и системы. –2024. –Т. 34. – № 1. – С. 88-100.
137. Яблонский, А.А. Курс теоретической механики.- М.: Высшая школа, 1984. – Ч.1. – 289 с.
138. Яблонский , А.А. Курс теоретической механики. - М.: Высшая школа, 1984. – Ч.II. – 268 с.
- 139 Baraldi, G. Macchine per la lavorazione nel frutteto e nel vigneto / G. Baraldi // Macchine e motori agricole. – 1966, V. 24. - № 7. - P. 79-90.
140. Cattabrigo, D. Zappatrici zotative e vangatrici / Davide Cattabrigo // Macchine e motor agricole. –1974, 32. – № 12. - P. 49-53.
141. Desherbage et affiration du sol en viticulture et arboriculture // Tracteurs et Machines Agricoles. – 1973, 49. –№ 10. - P. 19.

142. Gasparetto, E. Ulteriori indagini sperimentali sulle macchine per la lavorazione intraceppi / E. Gasparetto // *Informatore Agrario*. - 1965. V. 21. - № 42.-P. 1601-1603.

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

144. Lacombe, R. 20ans de mécanisation viti-vinicole on les enseignements des démonstrations de motoviticulture / R. Lacombe // *Tracteurs et machines agricoles*. - 1966, 42. -№ 10. - P. 18-22.

145. Moser, E. Maschinen den Obst-und Weinbau / Eberhard Moser // *Landtechnik*. - 1969, 24. - № 10. - P. 344-347.

146. Pellizzi, G. Indagine sperimentale su zappatrici rotative per lavorazione sulle colture arboree intraceppi / Giuseppe Pellizzi // *Macchine e motori agricole*. -1964, 22.- № 1.-P. 65-74.

147. Yreenham, D.W. Orchard soil management / D.W. Yreenham // *Est Mall, res. sta.* - London, 1952. - P. 45-48.www.vanwamel.nl/cirkelmRF

УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО

Кабардино-Балкарский ГАУ

г. Нальчик, КБР

д.т.н.  А.К. Апажев

«14» октября 2024 г.



УТВЕРЖДАЮ

Врио директора

ФГБНУ «Северо-Кавказский научно-

исследовательский институт

горного и предгорного садоводства»

г. Нальчик, КБР

Х.Х. Хагажеев

«15» октября 2024 г.



АКТ

передачи результатов научно-исследовательской работы, выполненной в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова» (КБГАУ) в федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного садоводства» (СевКавНИИГиПС)

Мы, нижеподписавшиеся, представители КБГАУ: декан факультета механизации и энергообеспечения предприятий, д.т.н. профессор Шекихачев Ю.А., д.т.н., профессор кафедры «Техническая механика и физика» Хажметов Л.М., к.т.н., доцент кафедры «Техническая механика и физика» Полищук Е.А., ассистент кафедры «Энергообеспечение предприятий» Егожев А.А., с одной стороны, и представители СевКавНИИГиПС: зам. директора по науке, д. с-х. н., доцент Бакуев Ж.Х., зам. директора по МТС, главный инженер, к.т.н. Темиржанов И.О., заведующий отделом механизации трудоемких процессов в садоводстве, в.н.с., к.т.н. Заммиев А.У., составили настоящий акт о том, что 2020-2024 гг. в результате проведения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ по теме «Параметры и режимы работы двухроторной садовой фрезы для обработки приствольных полос плодовых насаждений на террасированных склонах» разработана, изготовлена и испытана двухроторная садовая фреза для обработки приствольных полос плодовых насаждений для садоводства на склоновых землях.

СевКавНИИГиПС принял к использованию:

- аналитические зависимости, позволяющие установить кинематические, конструктивно-технологические параметры двухроторной садовой фрезы при обработке приствольной полосы плодовых насаждений;

- математические модели процесса обхода штамба дерева поворотной фрезерной секцией, позволяющие установить рациональные значения основных параметров машины;
- конструктивно-технологическую схему и опытный образец двухроторной фрезы для обработки приствольных полос плодовых насаждений, позволяющие обеспечить полное фрезерование в приствольной полосе плодовых насаждений за один проход агрегата;
- основные конструктивно-технологические параметры работы двухроторной фрезы.

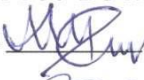
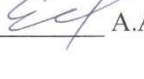
В ходе проведенных производственных испытаний выявлено:

- полнота фрезерования площади вокруг штамба плодового дерева за один проход агрегата вдоль линии ряда составляет 98,4%;
- снижение прямых эксплуатационных затрат по уходу за приствольными полосами плодовых насаждений в 2,94 раза.
- применение предлагаемой двухроторной фрезы в технологическом процессе по уходу за приствольными полосами плодовых насаждений позволяет получить годовой экономический эффект по приведенным затратам в размере 10,9 тыс. руб./га.

Таким образом, разработанная двухроторная фреза является эффективной, отвечающей всем агротехническим требованиям, предъявляемым к устройствам для фрезерования почвы, и может быть использована в сельскохозяйственном производстве при обработке приствольных полос плодовых насаждений в условиях склонового садоводства.

Представители

ФГБОУ ВО КБГАУ

декан ФМЭП  Ю.А. Шекихачев
 проф. каф. ТМиФ  Л.М. Хажметов
 доц. каф. ТМиФ  Е.А. Полишук
 ассист. каф. ЭП  А.А. Егожев

Представители

ФГБНУ СевКавНИИГиПС

зам. дир. по науке  Ж.Х. Бакуев
 зам. дир. по МТС  И.О. Темиржанов
 зав. отд. мех.  А.У. Заммиев

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по НИР ФГБОУ ВО
Кабардино-Балкарский ГАУ

г. Нальчик, КБР

Д.С.-Х.Н.

Р.З. Абдулхаликов

«17» сентября 2024г.



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ООО «Племсовхоз Кенже»

г. Нальчик, КБР

А.Ш.Кештов

«18» сентября 2024г.

**АКТ****использования результатов научно-исследовательских,
опытно-конструкторских и технологических работ**

Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ: декан факультета механизации и энергообеспечения предприятий, д.т.н профессор Шекихачев Ю.А., д.т.н., профессор кафедры «Техническая механика и физика» Хажметов Л.М., д.т.н., доцент кафедры «Техническая механика и физика» Полищук Е.А., ассистент кафедры «Энергообеспечение предприятий» Егожев А.А., с одной стороны, и представитель ООО «Племенной совхоз «Кенже» гл. инженер Унажоков А.А., с другой стороны, составили настоящий акт о том, что в результате проведения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ по теме «Параметры и режимы работы двухроторной садовой фрезы для обработки приствольных полос плодовых насаждений на террасированных склонах» на садовых участках ООО «Племенной совхоз Кенже» проведено производственное испытание опытного образца двухроторной садовой фрезы при обработке приствольных полос плодовых насаждений.

Применение двухроторной садовой фрезы в технологическом процессе ухода за приствольными полосами позволило:

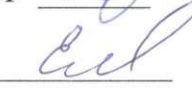
- снизить себестоимость работ до 2,94 раза по сравнению с фрезерным агрегатом ФА-076;
- улучшить водный и пищевой режим плодовых насаждений, что сказывается на повышении урожайности плодовых культур;
- получить годовой экономический эффект по приведенным затратам в размере 10,9 тыс. руб./га.

Таким образом, разработанная двухроторной фреза является эффективной, отвечающей всем агротехническим требованиям, предъявляемым к устройствам для

фрезерования почвы и может быть использована в сельскохозяйственном производстве при обработке приствольных полос плодовых насаждений в условиях террасного садоводства.

Представители

ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ

декан ФМЭП  Ю.А. Шекихачевпроф. каф. ТМиФ  Л.М. Хажметовдоцент. каф. ТМиФ  Е.А. Полищукассист. каф. ЭП  А.А. Егожев

Представитель

ООО «Племсовхоз «Кенже»

 А.А. Унажоков

ПРИЛОЖЕНИЕ III

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по УР и ЦТ
ФГБОУ ВО ФГБОУ ВО
Кабардино-Балкарский ГАУ
г. Нальчик, КБР

проф.  Р.Х. Кудаяев

«4» сентября 2024 г.

АКТ

об использовании в учебном процессе ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова» на факультете механизации и энергообеспечения предприятий результатов научно-исследовательской работы Егожева Аскера Артуровича

Комиссия в составе председателя – заведующего кафедрой «Агроинженерия» В.Х. Мишхожева; членов комиссии - профессора кафедры «Агроинженерия» Р.А. Балкарова, профессора кафедры «Агроинженерия» Т.Х. Пазовой рассмотрела результаты научно-исследовательской работы Егожева А.А. выполненной на тему «Параметры и режимы работы двухроторной садовой фрезы для обработки приствольных полос плодовых насаждений на террасированных склонах» и оценила возможность их использования в учебном процессе.

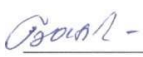
Комиссия установила, что результаты научно-исследовательской работы Егожева А.А. могут быть использованы в учебном процессе при изучении дисциплин «Энергосберегающие технологии в АПК» и «Инновационные технологии в механизации растениеводства» на кафедре «Агроинженерия» при подготовке магистров по направлению 35.04.06 «Агроинженерия».

Комиссия считает, что включенные в образовательные дисциплины материалы научно-исследовательской работы соответствуют требованиям государственного образовательного стандарта по направлению подготовки 35.04.06 «Агроинженерия».

Председатель комиссии:

 В.Х. Мишхожев

Члены комиссии:

 Р.А. Балкаров

 Т.Х. Пазова





Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Горский государственный аграрный университет»

ДИПЛОМ

I степени
награждается

Егожев Аскер Артурович

***участник II этапа Всероссийского конкурса
на лучшую научную работу среди студентов,
аспирантов и молодых ученых высших учебных
заведений Минсельхоза РФ***

в номинации: «Машины и оборудование для АПК»

Врио ректора



Т. Р. Тускаев

Владикавказ 2022





МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

БашГАУ

СЕРТИФИКАТ

выдан

Егожеву Аскеру Артуровичу

обучающемуся

ФТБОУ ВО Кабардино-Балкарского ГАУ

участнику III этапа Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Минсельхоза России по номинации «Машины и оборудование для АПК»



Проректор
по научной и инновационной деятельности
И. В. Чудов

г. Уфа, 26-27 мая 2022 г.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 214799

ФРЕЗА ДЛЯ ТЕРРАСНОГО САДА

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова" (ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ) (RU)*

Авторы: *Егожев Артур Мухамедович (RU), Апажеев Аслан Каральбиевич (RU), Мисиров Мухамад Хусаинович (RU), Полищук Евгений Александрович (RU), Егожеев Аскер Артурович (RU)*

Заявка № 2022115620

Приоритет полезной модели 08 июня 2022 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 15 ноября 2022 г.Срок действия исключительного права
на полезную модель истекает 08 июня 2032 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 66b80077614e40f0a94e6bd24145d5c7
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 2.03.2022 по 26.05.2023

Ю.С. Зубов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU (11)

206 892⁽¹³⁾ U1(51) МПК
A01B 39/16 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
A01B 39/163 (2021.05)

(21)(22) Заявка: 2021109828, 08.04.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
08.04.2021Дата регистрации:
30.09.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 08.04.2021

(45) Опубликовано: 30.09.2021 Бюл. № 28

Адрес для переписки:

360030, г. Нальчик, пр. Ленина, 1в, ФГБОУ ВО
Кабардино-Балкарский ГАУ, НИС, патентный
отдел, Дударовой Ф.Т.

(72) Автор(ы):

Егожев Артур Мухамедович (RU),
Апажев Аслан Каральбиевич (RU),
Полищук Евгений Александрович (RU),
Егожев Аскер Артурович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Кабардино-Балкарский
государственный аграрный университет им.
В.М. Кокова" (ФГБОУ ВО
Кабардино-Балкарский ГАУ) (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 184892 U1, 13.11.2018. RU
94025126 A1, 10.08.1996. RU 2132599 C1,
10.07.1999. SU 371868 A1, 01.03.1973. FR 3023448
A1, 15.01.2016. US 4384618 A, 24.05.1983.

(54) ФРЕЗА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПРИСТВОЛЬНЫХ ПОЛОС ИНТЕНСИВНОГО САДА

(57) Реферат:

Полезная модель относится к области
сельскохозяйственного машиностроения и может
быть использована для обработки почвы в садах.Задачей полезной модели является повышение
эксплуатационных характеристик путем
совершенствования процесса обхода штамба
дерева фрезерным рабочим органом.Технический результат полезной модели
сводится к уменьшению инерционных нагрузок,
возникающих при выводе фрезерной секции из
привольной полосы.Технический результат достигается тем, что
фреза содержит поворотный брус, выполненныйс возможностью вращения вокруг вертикальной
оси, проходящей через ось вращения основного
фрезерного барабана, на консоли которого
установлен дополнительный фрезерный барабан.Применение в конструкции фрезы
поворотного бруса, с установленным на его
консоли дополнительным фрезерным барабаном,
позволяет при подходе к штамбу дерева выводить
из привольной полосы только дополнительный
фрезерный барабан, что обеспечивает снижение
инерционных сил, возникающих при работе
фрезы.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU (11)

184 892⁽¹³⁾ U1(51) МПК
A01B 39/16 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
A01B 39/16 (2006.01)(21)(22) Заявка: 2018122520, 19.06.2018
(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.06.2018Дата регистрации:
13.11.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 19.06.2018

(45) Опубликовано: 13.11.2018 Бюл. № 32

Адрес для переписки:

360030, г. Нальчик, пр. Ленина, 1в, ФГБОУ ВО
Кабардино-Балкарский ГАУ, НИС, патентный
отдел, Дударовой Ф.Т.

(72) Автор(ы):

Егожев Артур Мухамедович (RU),
Полищук Евгений Александрович (RU),
Егожев Аскер Артурович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Кабардино-Балкарский
государственный аграрный университет им.
В.М. Кокова" (ФГБОУ ВО
Кабардино-Балкарский ГАУ) (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2272388 C1, 27.03.2006. RU
2462014 C1, 27.09.2012. RU 179425 U1,
15.05.2018. SU 1085528 A1, 15.04.1984.

(54) ФРЕЗА ДЛЯ ПРИСТВОЛЬНОЙ ПОЛОСЫ

(57) Реферат:

Полезная модель относится к области сельскохозяйственного машиностроения и может быть использована для обработки почвы в садах в условиях горного и предгорного садоводства, где подход к линии ряда имеется только с одной стороны.

Целью полезной модели является обеспечение обработки фрезерными барабанами всей зоны вокруг штамба дерева за один проход агрегата.

Поставленная цель достигается тем, что фреза для приствольной полосы содержит четыре фрезерных барабана, из которых один установлен

на несущей раме, а три - на поворотной фрезерной секции, выполненной крестообразной формы с возможностью вращения вокруг вертикальной оси, проходящей через точку пересечения осей составляющих штанг.

Расположение трех фрезерных барабанов на поворотной секции позволяет рабочим органам за счет силы давления штамба дерева и реакции ножей с почвой полностью обойти вокруг штамба дерева, чем обеспечивается полная обработка всей зоны вокруг штамба дерева за один проход агрегата.

RU 184892 U1

RU 184892 U1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 222230

КОМБИНИРОВАННАЯ САДОВАЯ ФРЕЗА

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова" (ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ) (RU)*

Авторы: *Егожов Артур Мухамедович (RU), Апажов Аслан Каральбиевич (RU), Полищук Евгений Александрович (RU), Мисиров Мухамад Хусаинович (RU), Егожов Аскер Артурович (RU), Алиев Низам Алейдарович (RU)*

Заявка № 2023120291

Приоритет полезной модели 01 августа 2023 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре полезных

моделей Российской Федерации 15 декабря 2023 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 01 августа 2033 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 429b6a0fe3853164ba96f83b73b4aa7
Владелец: *Зубов Юрий Сергеевич*
Действителен с 10.05.2023 по 02.08.2024

Ю.С. Зубов

ПРИЛОЖЕНИЕ XII

Размеры и кинематические параметры двухроторной фрезы

Параметры	Численное значение	Ед. измерения	Примечание
размер BA	$0,75 \div 0,95$	м	Конструктивный геометрический параметр: параметры движителя, агротехнические требования к содержанию плодовых деревьев
размер BC	$0,3 \div 0,45$	м	Геометрический параметр принят из конструктивных соображений: класс трактора, агротехнические требования к содержанию плодовых деревьев
$\dot{X}_A$	$0,5 \div 1,8$	м/с	В соответствии с технологией обработки садовых культур
φ_1	$0 \div 0,26$	радиан	Параметр принят в соответствии с классом трактора и технологическими требованиями
$\dot{\varphi}_1$	$0,1 \div 0,22$	1/с	Параметр принят в соответствии с техническими характеристиками трактора и технологическими требованиями
φ_2	$0 \div 3$	радиан	Параметр принят в соответствии с техническими характеристиками трактора и технологическими требованиями
$\dot{\varphi}_2$	$0,4 \div 0,6$	1/с	Параметр принят в соответствии с техническими характеристиками трактора и технологическими требованиями
$\ddot{X}_A$	0	м/с ²	Трактор движется равномерно и прямолинейно
$\ddot{\varphi}_1$	0	1/с ²	Поворот секции фрезы относительно трактора происходит равномерно
m_1	18	кг	Момент инерции I_{1x} кг · м ²
m_2	22	кг	Момент инерции I_{2x} кг · м ²
m_3	2.5	кг	Момент инерции I_{3x} кг · м ²

ПРИЛОЖЕНИЕ XIII

Параметры вычислений коэффициентов K_i

phi1	cos	sin	phi2	cos	sin	Xa	phi1	phi2	P	Q	G	W	K1
0,1	1	0	0,3	1	0	0,5	0	0	0,0022	0	0	0,216	0,01
0,2	1	0	0,3	1	0	0,5	0	0	0,0118	0	0	0,343	0,0343
0,1	1	0,34	0,3	1	0	0,5	0	0	0,0022	0	0,0004	0,216	0,008
0,2	1	0,34	0,3	1	0	0,5	0	0	0,0118	0	0,0017	0,343	0,0293
0,1	1	0,64	0,3	1	0	0,5	0	0	0,0022	0	0,0011	0,216	0,0049
0,2	1	0,64	0,3	1	0	0,5	0	0	0,0118	0	0,0044	0,343	0,0215
0,1	1	0,87	0,3	1	0	0,5	0	0	0,0022	0	0,0018	0,216	0,0017
0,2	1	0,87	0,3	1	0	0,5	0	0	0,0118	0	0,0072	0,343	0,0134
0,1	1	0,98	0,3	1	0	0,5	0	0	0,0022	0	0,0022	0,216	-1E-04
0,2	1	0,98	0,3	1	0	0,5	0	0	0,0118	0	0,0087	0,343	0,0089
0,1	1	0,98	0,3	1	0	0,5	0	0	0,0022	0	0,0022	0,216	-1E-04
0,2	1	0,98	0,3	1	0	0,5	0	0	0,0118	0	0,0087	0,343	0,0089
0,1	1	0	0,6	1	0	0,5	0	0	0,0043	0	0	0,216	0,02
0,2	1	0	0,6	1	0	0,5	0	0	0,0235	0	0	0,343	0,0686
0,1	1	0,34	0,6	1	0	0,5	0	0	0,0043	0	0,0009	0,216	0,016
0,2	1	0,34	0,6	1	0	0,5	0	0	0,0235	0	0,0034	0,343	0,0386
0,1	1	0,64	0,6	1	0	0,5	0	0	0,0043	0	0,0022	0,216	0,0099
0,2	1	0,64	0,6	1	0	0,5	0	0	0,0235	0	0,0088	0,343	0,043
0,1	1	0,87	0,6	1	0	0,5	0	0	0,0043	0	0,0036	0,216	0,0094
0,2	1	0,87	0,6	1	0	0,5	0	0	0,0235	0	0,0143	0,343	0,0269
0,1	1	0,98	0,6	1	0	0,5	0	0	0,0043	0	0,0044	0,216	-1E-04
0,2	1	0,98	0,6	1	0	0,5	0	0	0,0235	0	0,0174	0,343	0,0178
0,1	1	0,98	0,6	1	0	0,5	0	0	0,0043	0	0,0044	0,216	-1E-04
0,2	1	0,98	0,6	1	0	0,5	0	0	0,0235	0	0,0174	0,343	0,0178
0,1	1	0	0,9	1	0	0,5	0	0	0,0065	0	0	0,216	0,03
0,2	1	0	0,9	1	0	0,5	0	0	0,0333	0	0	0,343	0,1029
0,1	1	0,34	0,9	1	0	0,5	0	0	0,0065	0	0,0013	0,216	0,0241
0,2	1	0,34	0,9	1	0	0,5	0	0	0,0333	0	0,0051	0,343	0,0879
0,1	1	0,64	0,9	1	0	0,5	0	0	0,0065	0	0,0033	0,216	0,0148
0,2	1	0,64	0,9	1	0	0,5	0	0	0,0333	0	0,0131	0,343	0,0646
0,1	1	0,87	0,9	1	0	0,5	0	0	0,0065	0	0,0054	0,216	0,0052
0,2	1	0,87	0,9	1	0	0,5	0	0	0,0333	0	0,0215	0,343	0,0403
0,1	1	0,98	0,9	1	0	0,5	0	0	0,0065	0	0,0065	0,216	-2E-04
0,2	1	0,98	0,9	1	0	0,5	0	0	0,0333	0	0,0261	0,343	0,0267
0,1	1	0,98	0,9	1	0	0,5	0	0	0,0065	0	0,0065	0,216	-2E-04
0,2	1	0,98	0,9	1	0	0,5	0	0	0,0333	0	0,0261	0,343	0,0267
0,1	1	0	1,2	1	0	0,5	0	0	0,0086	0	0	0,216	0,04
0,2	1	0	1,2	1	0	0,5	0	0	0,047	0	0	0,343	0,1371
0,1	1	0,34	1,2	1	0	0,5	0	0	0,0086	0	0,0017	0,216	0,0321
0,2	1	0,34	1,2	1	0	0,5	0	0	0,047	0	0,0069	0,343	0,1172
0,1	1	0,64	1,2	1	0	0,5	0	0	0,0086	0	0,0044	0,216	0,0197
0,2	1	0,64	1,2	1	0	0,5	0	0	0,047	0	0,0175	0,343	0,0861
0,1	1	0,87	1,2	1	0	0,5	0	0	0,0086	0	0,0072	0,216	0,0069
0,2	1	0,87	1,2	1	0	0,5	0	0	0,047	0	0,0286	0,343	0,0537
0,1	1	0,98	1,2	1	0	0,5	0	0	0,0086	0	0,0087	0,216	-3E-04
0,2	1	0,98	1,2	1	0	0,5	0	0	0,047	0	0,0348	0,343	0,0357
0,1	1	0,98	1,2	1	0	0,5	0	0	0,0086	0	0,0087	0,216	-3E-04

ПРИЛОЖЕНИЕ XIV

Таблица 3.7 - Техничко-эксплуатационные показатели двухроторной садовой фрезы

Технические параметры	
Тип машины	Навесная
Агрегатирование	МТЗ-80
Масса фрезы, кг.	67
Количество роторов фрезы, шт.	2
Количество ножей на каждом роторе, шт.	2-4
Максимальная ширина обработки, м.	0,8 - 1
Ширина захвата ножа, м.	0,07
Усилие на щупе, кг.	1-2
Угол установки ножей на фланце ротора, град.	30
Частота вращения роторов фрезы, мин ⁻¹ .	150 - 350
Рабочая скорость агрегата, км/ч.	2 - 6
Уничтожение сорной растительности, %	95 - 97
Повреждение штамбов, %	0,4-0,6
Производительность, га/ч.	
За час сменного времени, га/ч.	0,18
За час чистой площади сада, га/ч.	1
Полнота фрезерования площади вокруг штамба плодового дерева, %	98,4
Степень подрезаемости корней сорняков в зоне приствольного круга, %	95,3

Таблица 4.1 – Исходные параметры для определения экономической эффективности фрезерного агрегата

№	Наименование показателя	Единица измерения	Тип машины	
			Серийная фреза ФА-076 в рядовых условиях эксплуатации	Предлагаемая двухроторная садовая фреза по пат. №214799
1.	Ширина захвата	м	0,76	0,76
2.	Скорость	км/ч	3,6	3,6
3.	Продолжительность смены	ч	7	7
4.	Коэффициент использования времени смены		0,37	0,73
5.	Годовая загрузка машины	ч	80	80
6.	Количество персонала для обл. агрегата	чел.	1	1
7.	Сменная оплата труда	руб.	2000	2000
8.	Балансовая стоимость трактора	руб.	870000	870000
9.	Балансовая стоимость машины	руб.	200000	56000
10.	Количество машин в агрегате	шт.	1	1
11.	Норма амортизационных отчислений для трактора	%	11,1	11,1
12.	Норма амортизационных отчислений для машины	%	12,5	12,5
13.	Годовая загрузка трактора	ч	1350	1350
14.	Норма отчислений на ремонт и ТО по трактору	%	9,9	9,9
15.	Норма отчислений на ремонт и ТО по машине	%	12,0	12,0
16.	Удельный расход топлива	кг/га	7,30	6,75
17.	Средняя цена 1 кг топлива	руб.	50	50
18.	Эффективная мощность двигателя	кВт	59	59

Таблица 4.2 - Сравнительный анализ экономической эффективности
фрезерных агрегатов

№	Наименование показателя	Единица измерения	Тип машины	
			Серийная фреза ФА-076 в рядовых условиях эксплуатации	Предлагаемая двух-роторная садовая фреза по пат. №214799
1.	Производительность одного часа чистого времени работы	га/ч	0,27	0,27
2.	Производительность за один час времени смены	га/ч.	0,1	0,18
3.	Производительность за смену	га/см.	0,7	1,26
4.	Годовая выработка	га	8	14.4
5.	Рост производительности машины	%	-	80
6.	Производительность труда	га/чел. ч	0,7	1,26
7.	Повышение производительности труда		-	1,8
8.	Затраты труда на один гектар	чел.ч/ га	1,43	0,79
9.	Снижения трудоемкости	%	-	44,7
10.	Экономия трудозатрат за один год	чел.ч	-	9,22
11.	Оплата труда на 1 га	руб/га	2857	1587
12.	Амортизационные отчисления	руб/га	3840	883,5
13.	Отчисления на ремонт и ТО	руб/га	3638	821
14.	Затраты на ГСМ	руб/га	365	310
15.	Прямые иные затраты	руб/га	428	144
16.	Прямые эксплуатационные затраты всего	руб/га	11128	3785
17.	Удельная экономия эксплуатационных затрат	руб/га	-	7383
18.	Степень снижения эксплуатационных затрат	%	-	66

Продолжение табл.4.2

19.	Годовая экономия эксплуатационных затрат	руб	106315
20.	Срок окупаемости машины	лет	0,54
21.	Коэффициент эффективности капиталовложений	-	1.8