Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского»
Академия биоресурсов и природопользования

На правах рукописи

КРАСОВСКИЙ Виталий Викторович

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОСИЛКИ ДЛЯ СКАШИВАНИЯ СИДЕРАТОВ В МЕЖДУРЯДЬЯХ САДОВ И ВИНОГРАДНИКОВ

Специальность 05.20.01 - Технологии и средства механизации сельского хозяйства

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор Догода Петр Ануфриевич

Симферополь, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ И СПОСОБОВ УХОДА ЗА МЕЖДУРЯДЬЯМИ САДОВ И ВИНОГРАДНИКОВ ... 10
1.1 Сравнительная оценка различных типов содержания почвы, способов возделывания промышленных садов и виноградников 10
1.1.1 Типы и основные элементы промышленных посадок садов и виноградников 10
1.1.2 Сравнительная характеристика различных способов содержания почвы в междурядьях садов и виноградников 13
1.1.3 Влияние сидератов на сады и виноградники 15
1.1.4 Залужение междурядий с мульчированием приствольных полос ... 19
1.2 Анализ существующих конструкций косилок 21
1.2.1 Косилки с возвратно–поступательным движением ножа 22
1.2.2 Косилки с ротационным режущим аппаратом 24
1.2.3 Косилки для скашивания травостоя в междурядьях садов и виноградников 26
1.2.4 Косилки, позволяющие транспортировать скошенную массу 32
1.3 Проблема скашивания полеглого и примятого травостоя 35
1.4 Обзор теоретических исследований параметров и режимов работы ротационных режущих аппаратов 37
1.5 Выводы по разделу 49
2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОСИЛКИ ДЛЯ СКАШИВАНИЯ СИДЕРАТОВ В МЕЖДУРЯДЬЯХ САДОВ И ВИНОГРАДНИКОВ 50
2.1 Конструкция и принцип работы предлагаемой косилки 50
2.2 Расчет и построение кожуха косилки 53
2.3 Геометрические параметры лопастей 56
2.4 Исследование движения стебля по лопасти, установленной на ноже 58
2.5 Численное моделирование движения частицы по лопасти 63
2.6 Исследование характера течения воздуха внутри кожуха косилки 71
2.7 Исследование движения частицы после выхода из кожуха косилки 78

2.8 Выводы по разделу 83
3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 85
3.1 Программа исследований 85
3.2 Оборудование и приборы, использовавшиеся при проведении лабораторных и полевых исследований 86
3.3 Последовательность и техника проведения экспериментов 88
3.4 Лабораторные исследования по определению характеристик воздушного потока 92
3.5 Исследование влияния геометрических параметров лопасти на дальность вылета скошенной массы 95
3.6 Определение качества кошения 99
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 100
4.1 Результаты лабораторных исследований по определению характеристик воздушного потока 100
4.2 Зависимость дальности вылета скошенной измельченной массы от углов кривизны и высоты лопастей, установленных на ножах косилки 102
4.3 Результаты экспериментов по определению качества среза существующим и усовершенствованным рабочим органом 107
4.4 Производственная проверка опытного образца косилки и внедрение результатов исследований 109
4.5 Выводы по разделу 112
5 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ КОСИЛКИ ДЛЯ СКАШИВАНИЯ СИДЕРАТОВ В МЕЖДУРЯДЬЯХ САДОВ И ВИНОГРАДНИКОВ 114
5.1 Экологическая и энергетическая оценка внедрения косилки для ухода за междурядьями садов и виноградников 114
5.2 Технико-экономическая эффективность внедрения косилки 122
5.3 Выводы по разделу 127
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 128
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 130
ПРИЛОЖЕНИЯ 146

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы интенсификации производства стоят перед всеми отраслями сельскохозяйственного производства. Возделывание садов и виноградников является одним из приоритетных направлений в условиях сельского хозяйства Крыма и юга России. Получают распространение все новые подходы к совершенствованию механизации технологических процессов, использованию интенсивных форм возделывания, внедрению новых типов многолетних насаждений, усовершенствованных систем содержания почв, совершенствованию технологических процессов в виноградарстве и садоводстве за счет применения новых средств механизации.

Одним из важнейших моментов в комплексе агротехнических мероприятий в технологии интенсивных садов, а также в технологиях ухода за виноградниками, является система содержания почвы. Сегодня появляются новые методы обработки почвы – переход от истощающих технологий ухода за почвенным покровом к почвозащитным. Эти технологии должны быть направлены не только на эффективное использование энергии и сохранение почвенного покрова, но и на его восстановление, улучшение качественных показателей [56].

Вопросами механизации производства продукции садов и виноградников занимаются ФГБУН «Ордена Трудового Красного Знамени НБС – ННЦ РАН», ФГБОУ ВО «КГАУ им. И.Т. Трубилина», ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И.Вернадского» и др. Большой вклад в развитие теории работы режущих аппаратов и механизации возделывания многолетних насаждений внесли ученые Маслов Г.Г., Лебедев А.Т., Труфляк Е.В., Трубилин Е.И., Догода П.А.

Прогрессивная технология предусматривает применение сидератов, содержание почвы под задернением многолетними травами. Одним из главных условий применения интенсивной технологии является постоянное скашивание травостоя. Применение скошенной и измельченной травяной массы из

междурядья в качестве мульчирующего материала для приствольной полосы обеспечивает нормализацию воздушно-водного баланса там, где это наиболее необходимо. Измельченная масса перегнивает и дополнительно насыщает почву микроэлементами и минералами (выступает в качестве органического удобрения), уменьшает потребность в минеральных удобрениях, что снижает химическую нагрузку на насаждения и плоды.

Внедрение интенсивной технологии в производство замедляется из-за отсутствия средств механизации, в частности косилки, способной выполнять технологический процесс в соответствии с агротехническими требованиями, обеспечивать качественный срез, измельчение и перемещение массы в приствольную полосу.

Обоснование основных конструктивных и режимных параметров рабочих органов косилки для скашивания сидератов в междурядьях садов и виноградников, создание опытного образца и внедрение в производство является прикладной задачей в рамках Государственной программы «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия Республики Крым на 2015-2017 годы» (подпрограмма «Развитие подотрасли растениеводства, переработки и реализации продукции растениеводства»), основанием для которой служит Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации, утвержденная Указом Президента Российской Федерации от 30.01.2010 № 120 (Федеральный закон от 29 декабря 2006 года N 264-ФЗ «О развитии сельского хозяйства»).

Концепцией государственной политики в области здорового питания населения, принятой Правительством РФ, предусматривается совершенствование систем возделывания, хранения и доведения плодов и ягод до норм потребления. Разработка ресурсосберегающих технологий и комплекса машин для садоводства и виноградарства, значительно снижающих трудоемкость, повышающих качество основных работ, снижая экологическую нагрузку, является важнейшей задачей. Выбранное научное направление подпадает под приоритетное направление Республики Крым и входит в план «Концепции стратегии развития отрасли

виноградарства и виноделия в Республике Крым и городе федерального значения Севастополь».

Цель и задачи исследования. Целью работы является повышение качества кошения сидератов и транспортировки измельченной массы в приствольную полосу путем разработки конструкции косилки для скашивания сидератов в междурядьях садов и виноградников.

В соответствии с целью поставлены следующие задачи исследования:

1. Провести анализ состояния и перспективы развития средств механизации по уходу за междурядьями садов и виноградников.

2. Провести теоретическое обоснование процесса перемещения скошенной массы в приствольную полосу.

3. Провести лабораторные исследования и полевую апробацию экспериментального образца косилки.

4. Определить эффективность внедрения разработанной косилки.

Объект исследований. Технологические процессы скашивания травостоя в междурядьях садов и виноградников с перемещением скошенной массы в приствольную полосу.

Предмет исследований. Закономерности конструктивных параметров и режимов работы косилки и процесса транспортировки скошенной и измельченной массы в приствольную полосу.

Методы исследования. Методы системного и математического анализа, теоретической механики, теории лопастных машин, газовой динамики, компьютерного моделирования. Результаты экспериментальных данных обрабатывались в соответствии с методиками планирования многофакторного эксперимента. При определении эффективности использовались стандартные методики энергетического и экономического анализа.

Научная новизна работы.

1. Выявлены закономерности взаимодействия скошенной массы с лопастями ножей косилки и закономерности выбора рациональных конструктивных и режимных параметров рабочих органов косилки.

2. Произведено математическое моделирование процесса перемещения скошенной массы в приствольную полосу с определением параметров и режимов работы косилки.

3. Построена устойчивая математическая модель воздушного потока, создаваемого рабочим органом, доведенная до численного алгоритма, которая дает возможность осуществления численных экспериментов в режиме имитации с использованием компьютерных программ Maple 18, Mathcad 14.

Рабочая гипотеза: предполагается, что разработанная конструкция косилки позволит повысить качество выполняемого технологического процесса, обеспечит ровный сплошной срез травы, будет способна перемещать скошенную массу в приствольную полосу.

Научная гипотеза заключается в том, что разрабатываемый рабочий орган должен создавать дополнительное разряжение, обеспечивающее подъём полеглого травостоя, его равномерное скашивание и транспортировку скошенной массы в приствольную полосу.

Практическая значимость.

1. Разработаны методики расчета конструктивных и технологических параметров рабочих органов косилки.

2. Изготовлено оборудование для проверки математической модели и проведения экспериментов.

3. Предложена конструкция косилки для садов и виноградников (патент РФ № 17023 от 20.11.2015 г.; патент РФ № 173262 от 21.08.2017 г.) и изготовлены опытные образцы.

4. Опытные образцы косилки внедрены в производство и позволили улучшить существующую технологию возделывания садов и виноградников (повысить экономический эффект, снизить химическую нагрузку на насаждения).

5. Результаты исследований использованы при создании новых косилок для скашивания травостоя в садах и виноградниках.

Апробация работы. Результаты работы были доложены, обсуждены и получили положительную оценку на VI Международной научно-технической

конференции «Проблемы энергосбережения» «Energia 2012», которая проходила при участии Польской академии наук; конференции профессорско-преподавательского состава ЮФ НУБиПУ «КАТУ» 2012-2014 гг и КФУ АБиП 2014-2017 гг; IX Международной научно-практической конференции «EUROPEJSKA NAUKA XXI POWIEKA – 2013» (Болгария, г.София); IX Международной практической конференции «EFEKTIVNÍ NÁSTROJE MODERNÍCH VĚD – 2013» (Прага, 2013); Международной научно-технической конференции «Проблемы механизации производства и технологии переработки сельскохозяйственной продукции» ЮФ НУБиПУ «КАТУ» (Симферополь, 2014 г.); Международной научно-практической конференции «Проблемы устойчивости биоресурсов и адаптивно-ландшафтного природопользования в различных экологических условиях» (Ялта, 2015 г); Международной научной конференции «NAUKOWA PRZESTRZEŃ EUROPY», (Перемышль, Польша, 07-15 апреля 2017 г.). Результаты научных исследований были представлены на фестивале науки ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского» (28.09.2015 г.) в номинации «Лучшая конструкторская разработка» и отмечены дипломом третьей степени; Всероссийской молодежной научно-практической конференции «Региональные программы и проекты в области интеллектуальной собственности» и отмечены дипломом; Выставке научных, научно-технических и конструкторских разработок ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского» 2016 г. и отмечены в номинации «Лучший научный проект КФУ АБиП» дипломом первой степени, и номинации «Лучшая конструкторская разработка КФУ» дипломом третьей степени.

На защиту выносятся:

1. Результаты теоретических исследований процесса перемещения скошенной и измельченной массы в приствольную полосу.

2. Результаты экспериментальных исследований по определению влияния параметров рабочих органов косилки на процесс перемещения скошенной и измельченной массы в приствольную полосу.

3. Результаты экспериментальных исследований по определению качества скашивания травостоя в междурядьях садов и виноградников

4. Энергетическая и экономическая оценка результатов внедрения в производство предлагаемой косилки.

Публикации. По материалам исследований опубликовано 15 печатных работ, в том числе семь в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, патент РФ на полезную модель № 157023 от 20.11.2015, бюлл. № 32 и патент РФ на полезную модель № 173262 от 21.08.2017, бюлл. № 24. Общий объем опубликованных работ составляет 4,94 п.л., из которого личная доля автора составляет 3,6 п.л.

Реализация результатов исследований. Результаты исследования приняты для продолжения опытно-конструкторских работ в плане реализации серийного производства косилки на базе Научно-производственного предприятия «Наука» г. Симферополь. Результаты работы позволяют совершенствовать возделывание садов и виноградников в условиях прогрессивной технологии. Изготовленные опытные образцы косилки внедрены в производство в хозяйствах Крыма: ООО «Сады Бахчисарая», ООО «Инвест - плюс» и филиала «Алушта» ФГУП ПАО «Массандра». Разработанная косилка является частью комплекса машин, обеспечивающего экологически безопасную технологию возделывания и уборки винограда. Среди заинтересованных организаций можно отметить предприятия ФГУП ПАО «Массандра», «Таврида», «Алушта», «Судак» и др.

Результаты исследований отражены в методических указаниях для самостоятельной работы студентов и включены в образовательный курс подготовки студентов направления «Агроинженерия» Академии биоресурсов и природопользования «КФУ им. В.И. Вернадского».

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа содержит введение, пять глав, заключение, библиографический список из 156 наименований и приложения. Работа изложена на 163 страницах машинописного текста, содержит 61 рисунок и 26 таблиц.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ И СПОСОБОВ УХОДА ЗА МЕЖДУРЯДЬЯМИ САДОВ И ВИНОГРАДНИКОВ

1.1 Сравнительная оценка различных типов содержания почвы, способов возделывания промышленных садов и виноградников

1.1.1 Типы и основные элементы промышленных посадок садов и виноградников

В промышленном производстве садов и виноградников существует классификация по степени интенсивности, которая определяется схемой посадки, видами подвойно-привойных комбинаций, системой формирования кроны. Существует четыре основных типа виноградников и садов: экстенсивные, полуинтенсивные, интенсивные и суперинтенсивные. В современном сельскохозяйственном производстве продукции садов и виноградников все более широко используется интенсивная технология возделывания [3, 55, 67, 68, 123, 124].

В интенсивных промышленном садоводстве используют слаборослые насаждения с карликовыми подвоями. Кроны деревьев округлые или веретеновидные, высота деревьев 2–3 м, количество культурных растений – 1000–3500 на 1 га. Благодаря слаборослым подвоям такие насаждения раньше вступают в плодоношение, повышается экономическая эффективность использования земель. Небольшие габариты деревьев обуславливают особенности агротехники. Повышается производительность труда на съеме [130].

В интенсивных виноградниках используют уплотненные схемы посадки виноградных кустов – 2–2,5 х 0,5–0,75 м. Очень важно выдержать рекомендуемую плотность посадок, т.к. при более редких посадках усиливаются ростовые процессы, которые не вписываются в принятую систему возделывания и приводят к смыканию кроны, т.е. сильному загущению побегов и снижению урожайности растений.

Категории возделывания интенсивных виноградников и садов предполагают соблюдение высокой технологической дисциплины.

В настоящее время интенсивные слаборослые насаждения являются основной составляющей интенсификации отрасли [31, 115]. Срок амортизации садов и виноградников по интенсивной технологии достигает 15–18 лет. Возделывание насаждений по таким технологиям в России составляет 5%, а за рубежом – 50 % [130].

По свидетельству многих учёных и практиков, эти системы позволяют увеличить, по сравнению с традиционными методами, продуктивность насаждений в 2 и более раз, повысить качество получаемой продукции, особенно столового винограда. Однако трудоемкость большинства из систем (организация опор, работы по уходу за насаждениями и междурядьями) сдерживает их применение.

Ведётся активный поиск новых подходов, внедрение технологических решений по разработке машин, которые должны обеспечить увеличение производительности насаждений, снижение трудовых и энергетических затрат.

Схему организации территории для промышленной посадки виноградника или сада разрабатывают стремясь создать оптимальные производственно–экономические условия для внедрения современной прогрессивной технологии возделывания садов и виноградников интенсивного типа, рассчитанной на максимально возможную механизацию технологических процессов при возделывании насаждений [114].

Независимо от вида посадки, культурные растения распределяют рядами. На ширину междурядий влияют величина кроны плодоносящих деревьев или габитус куста винограда, размер свободной (незасаженной) части.

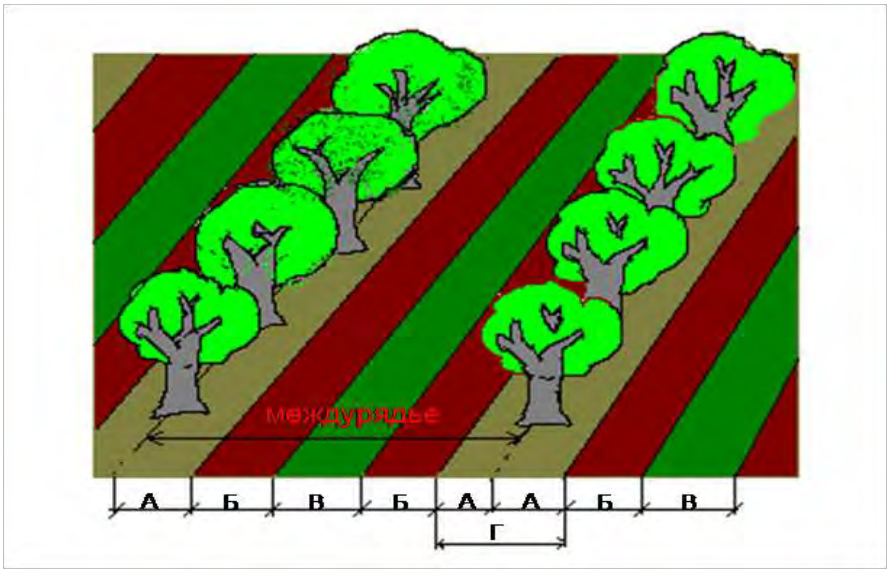
Существуют следующие технологические элементы в междурядье (рисунок 1.1) [43, 130].

1. Приствольная (прикустовая) полоса (зона А), служащая защитной зоной для ряда культурных насаждений. Ширина приствольной (прикустовой) полосы принимается с учетом величины отклонения деревьев и кустов от линии

посадки насаждений и отклонения от прямолинейного направления движения сельскохозяйственных агрегатов. Согласно данным различных исследований, величина ширины приствольной полосы (зоны А) составляет не менее 0,5 м [74]. Межствольную полосу образуют две смежные приствольные полосы (зона Г).

2. Подкроновая зона (зона Б) располагается под кронами деревьев. Свободное перемещение сельскохозяйственных машин и орудий в этой зоне обеспечивается за счет высоты штамбов во время формирования крон. Тип насаждений регулирует ширину подкроновой зоны. Так как в интенсивных садах и виноградниках размер крон и габитус куста очень мал, то этот элемент в междурядьях не принято выделять.

3. Свободный элемент в междурядье (зона В), которая обеспечивает проход трактора без повреждения насаждений. Для работы с тракторами класса 1,4–3,0 ширина свободной части должна быть не менее 2,2–2,5 м [130].



А – приствольная полоса; Б – подкроновая зона;

В – свободная часть междурядья; Г – межствольная полоса.

Рисунок 1.1– Элементы междурядий садов и виноградников

1.1.2 Сравнительная характеристика различных способов содержания почвы в междурядьях садов и виноградников

Система содержания почвы в междурядьях занимает важную роль в комплексе агротехнологических мероприятий по уходу за садами и виноградниками.

Содержание почвы в междурядьях отвечает за насыщение культурных растений необходимым количеством питательных веществ, микроэлементов, минералов, воздушно–водного баланса. Обработка почвы, качественный и количественный состав трав, растущих в междурядьях, напрямую влияют на структурный состав почвы, содержание в грунте и поступление в растение влаги и питательных веществ, дозы внесения минеральных удобрений, а в целом на рост и плодоношение.

В практике возделывания садов и виноградников разработаны требования к системе содержания почвы в междурядьях [106]:

– культурные насаждения должны обеспечиваться питательными веществами посредством возобновления недостающего их количества в почве для того, чтобы у растений имелся постоянно действующий источник необходимого количества минерального питания;

– в почве междурядий и приствольных полос должно содержаться необходимое количество воздуха для правильного роста и развития корней, позволяющего глубоко проникнуть в почву, качественной функциональной деятельности микроорганизмов и бактерий почвы;

– растения необходимо обеспечивать влагой в достаточном количестве для поддержания благоприятного роста и последующего плодоношения, в различные фазы развития и периода покоя, а также способствовать высокой морозоустойчивости растений;

– защита почвы от ветровой и водной эрозии;

– сохранение агрофона междурядий в рамках, обусловленных агротребованиями.

В современном садоводстве и виноградарстве различают две основные системы содержания почвы в междурядьях – паровую и под залужением многолетними травами [22, 100, 101].

Традиционным (преобладающим) способом содержания междурядий остается черный пар (рисунок 1.2). Он имеет ряд преимуществ по способности накопления и сохранения почвенной влаги, за счёт снижения интенсивности физического испарения с поверхности почвы позволяет максимально сохранить запасы влаги в почве. Система включает в себя осеннюю и весеннюю пахоту, рыхления междурядий, весенне–летние культивации, периодическое (раз в 3–4 года) проведение плантажа с внесением удобрений [111].

Недостатками черного пара являются: разрушение структуры почвы в результате многократных обработок и от воздействий ходовых движителей агрегатов; необходимость уничтожения и выноса за пределы виноградников и садов сорной растительности и внесение удобрений. В процессе возделывания насаждений (за сезон при выполнении различных операций по одному междурядью агрегаты проходят 15–20 раз) происходит разрушение структуры почвы; верхний слой почвы на глубину 40–50 мм под воздействием движителей превращается в эрозионные частицы (размером меньше 0,25 мм), которые при пахоте перемещаются вниз – в корнеобитаемый слой горизонта, а нижний, более качественный структурированный пласт почвы, поднимается вверх. Таким образом, из года в год перемещаясь вверх–вниз, почва превращается в «мертвую массу», не способную нести жизнеобеспечивающую функцию для корневой системы виноградных и плодовых насаждений [96].

При каждой технологической операции, связанной с обработкой почвы, происходит разрушение ее капиллярных связей, а при пахоте – вынос нижних влагосодержащих структурированных слоев наверх. В результате увеличивается испарение влаги, происходит дальнейшее иссушение почвы. Для садов и виноградников в условиях жаркого климата Крыма и Юга России (в течение сезона выпадает крайне мало осадков, а зимы малоснежные), такое нерациональное расходование имеющейся влаги крайне губительно [96]. При

содержании почвы под черным паром есть вероятность негативного воздействия ветровой и водной эрозии. Кроме того, такая система требует больших энергетических затрат.

Рисунок 1.2 – Междурядье сада яблони под чёрным паром

При содержании под залужением многолетними травами в междурядьях выращивают сидераты – злаковые, бобовые и их смеси, с неглубокой системой корней (рисунок 1.3), которые необходимо периодически скашивать на протяжении вегетации (5–7 раз за сезон), скошенную и измельченную массу оставляют в виде мульчирующего слоя. Принято использовать слаборослые, долговечные, имеющие плотный травостой, стойкие к затенению и вытаптыванию, быстро отрастающие после скашивания многолетние травы [5, 13, 101, 142].

1.1.3 Влияние сидератов на сады и виноградники

В практике земледелия сидераты применяют с незапамятных времен. В Европе этот прием был заимствован из Китая и получил распространение в странах Средиземноморья еще в Древней Греции [83].

Механизация, химизация и другие приемы все более и более содействуют достижению высокой урожайности сельскохозяйственных культур. Но проявляют свое действие некоторые факторы, тормозящие прогрессивный рост урожайности.

Одним из наиболее важных факторов такого рода является ухудшение агрономических качеств почвы под влиянием ветровой и водной эрозии, обусловливая быстрое разрушение органического вещества почвы, что особенно актуально для почв сухих и полупустынных степей, которые присущи сельскохозяйственным угодьям Крыма и юга России [102].

Рисунок 1.3 – Залужение почвы в молодом саду груши

Положительным влиянием сидератов является то, что травяная масса насыщает почву органическими веществами, в силу чего улучшаются водно-физические и химические свойства, а также микробиологические процессы в почве. Последнее создает благоприятные условия для роста и развития виноградного куста.

Способы применения сидератов разнообразны и видоизменяются в зависимости от климата, почвы и т.д. В качестве сидератов в основном используются однолетние и многолетние бобовые, злаковые культуры или их смеси: горох кормовой, люцерна, мышиный горошек, пелюшка, вика озимая или яровая, чина, а также рожь, овес, горчица, ковыль–волосатик, типец, житняк гребенчатый, и разнотравьем – полынь горькая, шалфей луговой [83].

Сидераты обогащают почву органическими веществами и азотом. Растения вырастают, развивают корневую систему, а также зеленую массу, после чего их скашивают. Скошенную массу используют в качестве компоста, но чаще

покрывают скошенным и измельченным травостоем поверхность почвы. Масса впоследствии разлагается вместе с корневой системой, превращается в гумус, обогащая почву органическими веществами и азотом [83].

Корни сидератов способствуют разрыхлению и улучшению структуры почвы, улучшают водно–воздушный режим. В этом плане наиболее рационально применять злаковые сидераты, у которых корневая система широко разветвлена, и способна разделить почву на более мелкие комочки. Такой эффект от зеленого удобрения полезен для сильно уплотненных почв, в которые плохо проникает влага [119].

Сидераты оказывают важный фитосанитарный эффект: подавляют рост сорной растительности, но для того, чтобы они сами не были сорняками, нужно проводить их скашивание до стадии образования семян. Особенно это необходимо при использовании быстрорастущих растений, которые дают большое количество семян – такие как горчица. Для этого технологией предусмотрено периодическое скашивание сидератов во время вегетации. Также некоторые виды сидератов положительно влияют на очищение почвы от болезней и вредителей.

Использование сидератов способствует накоплению гумуса в верхних слоях почвы, что повышает ее плодородные свойства. Гумус ускоряет развитие полезной микрофлоры почвы. Биомасса корней травянистых растений способствует обогащению и накоплению в почве органических остатков. Под естественным травостоем в верхнем слое почвы их накапливается до 25 т/га ежегодно. Такое количество органических остатков способно обеспечить образование гумуса в двадцатикратном размере [42].

Сидераты способствуют повышению эффективности применения других удобрений. В результате применения сидератов повышается почвозащитная способность растительного покрова. Разложение сидератов способствует переводу почвенных фосфатов и других микроэлементов минерального питания в усвояемые растениями формы, что в итоге приводит к повышению урожайности культурных насаждений [12].

Применение скошенной массы в качестве органических удобрений позволяет снизить норму внесения минеральных удобрений, тем самым уменьшить химическую нагрузку.

На протяжении вегетации растения рекомендуется периодически скашивать после достижения травостоя высоты 15-20 см. Частое скашивание зеленой массы оказывает положительное влияние на крепость травостоя. Периодическое скашивание и измельчение выполняют ротационными косилками. Неизмельченные укосы травы не допускаются [147].

Частое скашивание трав уменьшает их конкуренцию с виноградными и садовыми насаждениями в потреблении элементов питания и влаги. По данным агрохимических установлено, что при периодическом скашивании травостоя содержание нитратного азота в почве в 1,5 раза выше, и достигает 4,5 мг/кг почвы в сравнении 2,5 мг/кг почвы без скашивания. Количество аммиачного азота более существенно, чем нитратного. Так количество аммиачного азота увеличивалось с 28 до 45 мг/кг. Наблюдалась аналогичная тенденция в содержании подвижных форм калия и фосфора [16].

Представляют интерес исследования, проводимые на территории России и Украины на различных сортах плодовых деревьев, по определению воздействия разных способов содержания почвы в междурядьях многолетних насаждений на урожайность, рост, лежкость плодов и их товарное качество, а также другие свойства, в частности результаты исследований российских ученых на Орловской зональной плодово-ягодной опытной станции при изучении качественных показателей яблони [77]. В опытно-производственном хозяйстве государственного научного учреждения научно-исследовательского института садоводства им. И.В. Мичурина на плантациях яблони сорта Антоновка обыкновенная были проведены исследования по определению влияния системы почвенного содержания в междурядьях сада на урожайность, качество и лежкоспособность плодов [98]. Влияние на качество плодов при дерново-перегнойной системе содержания почвы также изучалось на опытной станции садоводства Института садоводства (Винницкая обл., Украина). При этом

отмечено, что урожаи, полученные при использовании залужения, были выше чем при черном паре и использовании других систем для почвы в междурядьях [87].

В опытном хозяйстве "Новоселки" УкрНИИ садоводства исследования, проведенные для определения влияния различных систем содержания почвы и разных норм внесения минеральных удобрений на интенсивность роста, урожайность и качество плодов яблони, показали, что при дерново–перегнойному содержанию почвы в междурядьях улучшается ее водный режим, физические и структурные характеристики. Плоды отличались более высоким содержанием сахаров, яркостью окраски и ароматических веществ [71].

По результатам исследований, которые проводились на Крымской опытной станции садоводства, можно отметить, что в яблоневых садах и на виноградниках паро-сидеральная система является наиболее эффективной [101].

Исследования, проведенные в Краснодарском крае, показали, что система содержания почвы под паром в междурядьях садов (которая сейчас является наиболее распространенной) имеет ряд значительных недостатков по сравнению с дерново–перегнойной и не рекомендуется при создании интенсивных виноградников и садов [40].

1.1.4 Залужение междурядий с мульчированием приствольных полос

Для должного обеспечения плодовых деревьев водой и регулирования накопления влаги приствольные полосы необходимо покрывать мульчей либо использовать капельное орошение. Почву в рядах деревьев обрабатывают гербицидами или механически [115, 116].

При испытании различных систем залужения почвы, которые были проведены в Федеральном научном центре им. И.В. Мичурина в период с 1999 г. по 2004 г. [101], было установлено, что высокий выход зеленой массы травы достигается при доведении её до определенной фазы роста. При скашивании и перемещении измельченной массы в приствольные полосы, верхний слой почвы

можно прикрыть в рядах мульчматериалом из листьев травы и скошенных стеблей [130].

Зеленная масса, внесенная в приствольную полосу в виде мульчирующего материала, существенно понижает произрастание сорняков вблизи штамбов деревьев [116]. Мульчирование приствольной полосы способно качественно и эффективно заменить использование химического метода борьбы с сорной растительностью [114].

В АО «Крымская Фруктовая Компания» междурядья в садах и виноградниках залужают сидератами, различными многолетними травами, а приствольные полосы оставляют под черным паром и покрывают мульчирующим материалом. В качестве мульчи используют солому (рисунок 1.4).

а) Виноградник б) Яблоневый сад

Рисунок 1.4 – Мульчирование приствольных полос в АО «Крымская Фруктовая Компания»

Мульчирование приствольных полос является эффективным агротехнологическим приемом в борьбе с сорной растительностью и позволяет сократить внесение гербицидов с четырех операций в год до одной.

Покрывание приствольной полосы мульчирующим материалом из–за улучшения почвенных условий увеличивает урожайность садов яблони на 19-36 % и повышает массу плода на 7-17 %, а также улучшает вегетативный рост [3].

Содержание почвы в междурядьях под залужением и применение черного пара в приствольной полосе с перемещением скошенной массы травы в междурядьях в приствольную полосу является наиболее эффективной и перспективной технологией содержания почвы в междурядьях садов и на виноградниках.

Обобщая проанализированные результаты исследований и литературные данные, можно сделать следующие выводы.

1. Одним из агротехнических приемов при возделывании садов и виноградников по интенсивной технологии является залужение междурядий с мульчированием приствольных полос.

2. Для залужений междурядий рационально использовать злаковые, бобовые, мятликовые травы и их смеси.

3. В качестве мульчирующего материала рационально использовать траву, скошенную в междурядьях.

4. Залужение междурядий предусматривает многократное скашивание травостоя за период вегетации и транспортирование измельченной массы в приствольную полосу.

5. Скашивание травостоя в междурядьях и покрывание приствольной полосы мульчматериалом целесообразно объединить в одну технологическую операцию, что выдвигает определенные требования к техническим средствам, обеспечивающим выполнение технологического процесса.

1.2 Анализ существующих конструкций косилок

Режущий аппарат является рабочим органом косилки. Существует два типа режущих аппаратов: сегментный и ротационный. По способу резания режущие рабочие органы косилок делятся на две группы: совершающие срез растений без подпора и с подпором стеблей. По виду траектории движения рабочих органов можно разделить на режущие аппараты, совершающие возвратно-поступательное движение ножей и режущие аппараты совершающие вращательное движение.

Аппараты, совершающие возвратно-поступательное движение ножей делятся на: двухножевые режущие аппараты, режущие аппараты с подвижными пальцами и неподвижными пальцами.

Рабочий орган косилок, совершающих подпорный срез, осуществляет возвратно-поступательное движение ножа при скорости резания до 20-30 м/с, бесподпорный срез осуществляется при вращательном движении ножей при скорости резания от 40 до 70 м/с [48].

1.2.1 Косилки с возвратно–поступательным движением ножа

Режущий аппарат с возвратно–поступательным движением ножа (рисунок 1.5) состоит из следующих основных элементов: головка ножа (1), направляющая головка ножа (2), крышка головки ножа (3), внутренний башмак (4), отводной пруток (5), наружный башмак (6), полевая доска (7), стеблеотвод пальца (8), вкладыш пальца (9), сегмент ножа (10), прижим ножа (11), спинка ножа (12), пластина трения (13), пальцевый брус (14).

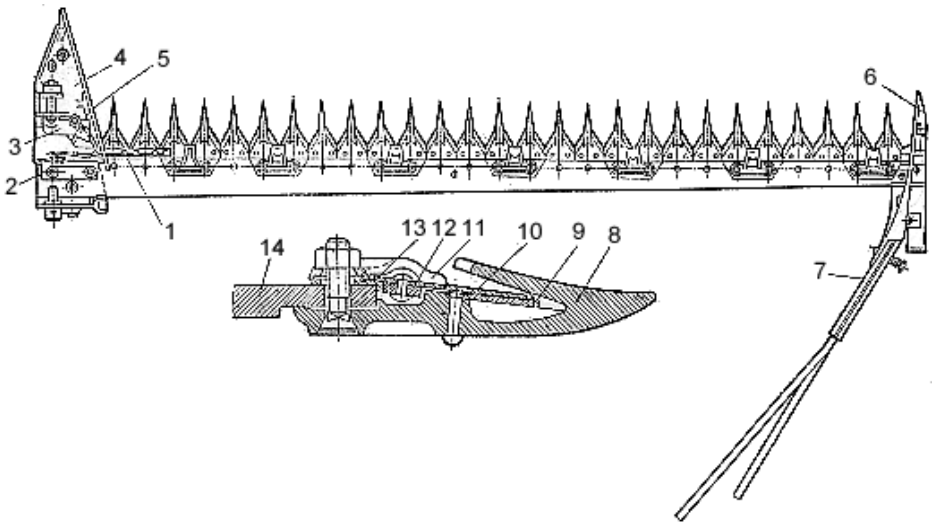


Рисунок 1.5 – Схема сегментного режущего аппарата

Косилками такого типа являются КММ–1, КРС–0.85, КС–Ф–2.1 Б, КМП–1 и другие [88].

Косилка возвратно–поступательным движением ножа КС–Ф–2.1Б состоит из рамы, тяговой штанги, режущего аппарата, привода и механизма подъема

(рисунок 1.6). Технологический процесс осуществляется следующим образом: при движении режущего аппарата стебли попадают между его пальцами, сегменты прижимают их к лезвиям противорежущих пластин и производят срез. Срезанный травостой укладывается на землю, переваливаясь через пальцевый брус. Отводной пруток отодвигает срезанные стебли от головки ножа. Место от срезанной травы освобождается полевой доской, снабженной стеблеотводом.

Рисунок 1.6 – Косилка КС–Ф–2,1Б

Общими недостатками косилок с возвратно–поступательным сегментным режущим аппаратом можно отнести следующие факторы:

– скорость резания не является постоянной, а изменяется, что негативно влияет на качество резания;

– при возвратно-поступательном движении ножей изменяется значение инерционных сил, которые, в свою очередь, отрицательно воздействуют на конструкцию косилки, вследствие чего надежность машины и срок её эксплуатации снижается;

– при работе на густом и перепутанном травостое режущий аппарат забивается из-за наличия противорежущих элементов [38, 52, 92, 110];

– поддержание постоянного зазора в режущих парах осложняет эксплуатацию косилок такого типа;

– сопротивление трению в режущих парах и затраты энергии, вызванные ее рассеянием, при вибрации конструкции находятся в пределах 200-400% энергии, затрачиваемой на перерезание стеблей растений. Рабочий орган сегментного

режущего аппарата может повреждаться вследствие наскакивания сегментов на пальцы, также в процессе эксплуатации носки сегментов могут подниматься вверх, что приводит к задеванию пальцев [49, 52, 59, 92, 130, 153, 156].

1.2.2 Косилки с ротационным режущим аппаратом

Николюхиным Б.Е. была осуществлена наиболее полная классификация ротационных режущих аппаратов [90]. Ротационные режущие аппараты с бесподпорным резанием различают по расположению оси вращения: с вертикальной и горизонтальной осью вращения (рисунок 1.7).

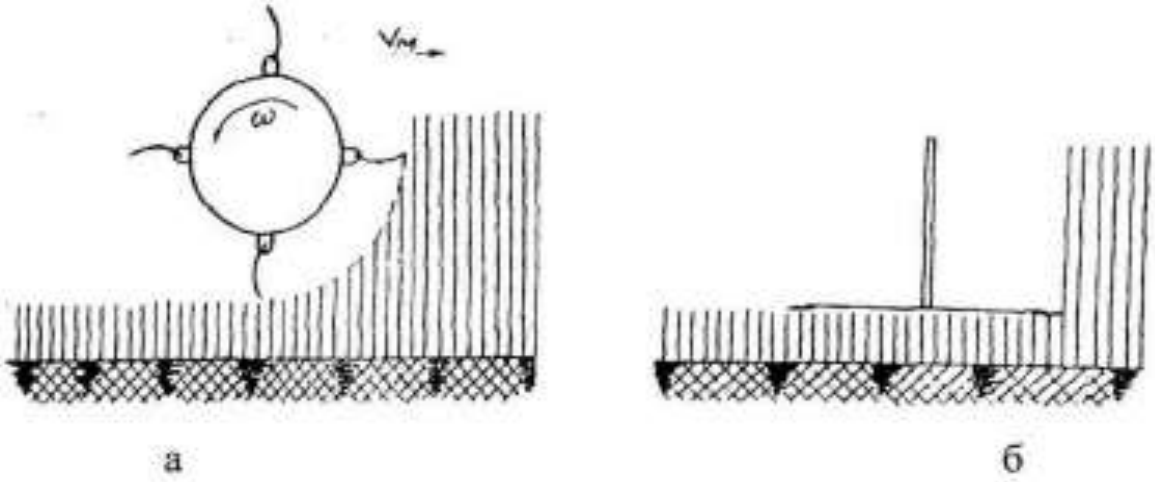


Рисунок 1.7 – Типы ротационных режущих аппаратов: а – режущий аппарат, имеющий горизонтальную ось вращения; б – вертикальную ось вращения

Косилки с горизонтальной осью вращения имеют ряд недостатков, связанных с конструктивными особенностями: срез производится под углом к стеблю, наклон плоскости среза не постоянен. Качество и легкость осуществления среза зависит от высоты установки аппарата: чем ниже расположен режущий аппарат, тем проще и более качественно осуществляется срез растений. Но вместе с тем вырастает возможность задевания ножами за неровности почвы и увеличивается засоренность срезанной массы частицами почвы, что приводит к поломке режущего аппарата [109].

Ротационный режущий аппарат с вертикальной осью вращения осуществляет бесподпорное резание стеблей в параллельной плоскости почвы, перпендикулярно основным видам срезаемых растений. Такие аппараты являются более экономичными, простыми конструктивно, легкими в эксплуатации и обслуживании, имеют более высокую надежность [11].

К преимуществам ротационных косилок можно отнести: способность осуществлять технологический процесс на повышенных поступательных скоростях. При этом наблюдается незначительная забиваемость рабочего органа и относительно низкая вибрация. Они имеют высокую производительность, меньшую инерционную неуравновешенность, устойчивы при работе на высоком густом, перепутанном, полеглом и мокром травостое, меньше забиваются [38]. Косилки с сегментно–пальцевым режущим аппаратом работают при поступательной скорости 5–10 км/ч, а с роторным аппаратом – 10–15 км/ч. Косилки с роторным рабочим органом осуществляют технологический процесс быстрее, соответственно, потребляют больше мощности, (15–19 л.с. на 1 м рабочей ширины захвата, а у косилок с пальцевым режущим аппаратом – 8–12 л.с. и у косилок с двухножевым режущим аппаратом – 11–14 л.с.). Применение косилок с ротационным рабочим органом является экономически целесообразным, поскольку они обладают более высоким КПД, так как на осуществление среза расходуют 60–65 % подводимой энергии, у других косилок этот показатель составляет лишь 30–40 % [130].

Роторный режущий аппарат, работающий в горизонтальной плоскости (с вертикальной осью вращения), состоит из одного или нескольких дисков с прикрепленными ножами. Режущие элементы и диск находятся в одной горизонтальной плоскости и работают на высоких окружных скоростях, необходимой для срезания свободно стоящего стебля без опоры. Косилки КРН–2,1 (рисунок 1.8), КРС 1,7–3 (рисунок 1.10), КИУ–2А (рисунок 1.12), КРР–Ф–1,85 снабжены таким режущим аппаратом [88].

Рисунок 1.8 – Косилка КРН – 2.1А

При движении косилки по полю диски вращаются навстречу друг другу с окружной скоростью около 65 м/с. Ножи осуществляют срез стеблей без противорежущих элементов, причем за счет высокой окружной скорости ножей стебли не успевают отклониться. Для следующего свободного прохода агрегата срезанную траву от не срезанной пододвигает отвальная доска. При столкновении ножа с препятствием он отклоняется, проворачиваясь в шарнирном креплении, а за счёт действия центробежной силы возвращается в исходное положение. Такой тип косилок используют при работе на неудобьях, засоренных и неровных почвах, так как они нередко засорены камнями и пр. Привод косилки осуществляется от ВОМа, агрегатируется с тракторами классов 0,9 и 1,4 кН.

1.2.3 Косилки для скашивания травостоя в междурядьях садов и виноградников

Интенсивная технология возделывания садов и виноградников предусматривает задернение междурядий многолетними травами с постоянным скашиванием травостоя. В условиях крымского садоводства и виноградарства, где характерным является наличие каменистых почв и перепутанного травостоя,

косилки с сегменто-пальцевым режущим аппаратом не способны работать удовлетворительно. В настоящее время в промышленном сельскохозяйственном производстве садов и виноградников наиболее широко используются косилки с ротационным рабочим органом с вертикальной ось вращения [6, 78].

Для кошения травостоя в междурядьях многолетних насаждений конструкция косилки должна обеспечивать равномерный качественный срез с измельчением скошенной массы. Пропуски и неизмельчение не допускаются [117]. Ротационные травокосилки применяют для работы на ровной поверхности в садах и на виноградниках. Некоторые зарубежные модели ряда BERTI (Италия) оснащены дополнительными боковыми гидравлическими косилками–триммерами (рисунок 1.9).

Рисунок 1.9 – Ротационная косилка BERTI (Италия) для садов и виноградников

Косилки агрегатируются с любыми отечественными и импортными тракторами мощностью от 40 до 90 л.с. Ширина без дополнительных боковых гидравлических косилок – от 140 до 280 см. Ширина захвата, которую могут обеспечить косилки с дополнительными боковыми косилками, составляет от 110 до 450 см.

Существует подобная по конструкции отечественная косилка КРС 1,7–3 (рисунок 1.10). Косилка КРС 1,7–3 используется для среза, измельчения

грубостебельных растений, мелких кустарников толщиной до 30 мм, отдельных деревьев. Эксплуатируется на ровных площадях и на неудобьях, при срезании отдельно стоящих деревьев и кустарников до 30 мм агрегат движется на первой пониженной передаче; при срезании густой мелкокустарниковой растительности скорость движения агрегата до 10 км/ч; при скашивании травы скорость движении агрегата до 18 км/ч.

Рабочий орган состоит из двух или трех роторов, масса машины – не более 420 кг, рабочая ширина захвата – до 2,8 м. Допускается эксплуатация косилки на засоренных участках различными мелкими посторонними предметами диаметром до 100 мм (камни, растительные остатки, стекло, металл и пр.).

Рисунок 1.10 – Косилка садовая КРС 1,7–3

Косилка предназначена для работы в агрегатировании с тракторами тягового класса 0,6–1,4. Привод осуществляется от ВОМ трактора. Косилка навешивается на заднюю навеску трактора.

Садовая косилка – измельчитель ИКС–3 (рисунок 1.11). Предназначена для срезания и измельчения трав и сидератов, засеянных в междурядьях плодоносящих садов.

Рисунок 1.11 – Измельчитель – косилка садовая ИКС –3

Агрегатируется с тракторами тягового класса 1.4. Основными узлами косилки–измельчителя являются: рама, опирающаяся на три пневматических самоустанавливающихся колеса; режущий аппарат, состоящий из четырех секций; выдвижная секция, предназначенная для среза растений в межствольной полосе; привод рабочих органов от ВОМ трактора; гидравлическое отклоняющее устройство; выдвижная секция и ограждения. Производительность составляет от 1,5 до 1,8 га/ч, поступательная скорость агрегата – до 5 км/ч, рабочая ширина захвата составляет 3 м, частота вращения роторов – 1350 об./мин., высота среза от 5 до 15 см, масса 674 кг.

Косилка–измельчитель универсальная КИУ–2А (рисунок 1.12). В работе [130] автор приводит следующее описание конструкции косилки: "Косилка–измельчитель КИУ–2А состоит из следующих основных узлов: рамы, навески, параллелограмного механизма, двух конических редукторов, двух роторов с ножами, карданного вала, гидроцилиндра управления и опорного катка. При работе косилка опирается на лыжи и каток, обеспечивающие копирование почвы. Боковое смещение косилки под крону деревьев осуществляется гидроцилиндром" [130].

КИУ–2А применяется для скашивания и одновременного измельчения травостоя в междурядьях садов, виноградников и ягодников.

Рисунок 1.12 – Косилка–измельчитель универсальная КИУ–2А

Подобного рода конструкции косилок встречаются довольно широко как в отечественном, так и в зарубежном производстве. Подобны по конструкции косилки фирмы «Van Wamel» серии RF [145] и серии RN (Голландия) [146]. Компания «JZYTD Co., Ltd.» производит косилки–измельчители серии FM с рабочей шириной захвата от 1,2 до 1,8 м, серии TM с рабочей шириной захвата от 1,1 до 1,6 м и серии SL с рабочей шириной захвата от 1,3 до 1,7 м (Китай).

Для скашивания с одновременным измельчением травостоя в междурядьях садов и виноградников в НПСХП «Наука» г.Симферополь было разработано, изготовлено и внедрено в производство несколько косилок под маркой КВР–2.4 (рисунок 1.13).

Рисунок 1.13 – Косилка КВР–2.4

Машина предназначена для скашивания и измельчения любых видов сорной растительности в садах, виноградниках, ягодниках. Может использоваться для скашивания трав без их измельчения на лугах и пастбищах. Машина измельчает траву, стерню, солому, лозу и ветки (диаметром до 30 мм). Измельченный материал остается на грунте и после запашки превращается в органическое удобрение.

Косилка имеет регулировку по высоте кошения от 50 до 300 мм (с шагом регулировки 50 мм). Привод режущего аппарата механический, осуществляется посредством системы конических редукторов от ВОМ трактора. Рабочие ножи установлены шарнирно и способны отклоняться при встрече с посторонними предметами. Роторы с ножами вращаются в противоположных направлениях, что исключает вибрацию машины и ее занос во время работы. Боковые противорезы исключают забивание рабочих органов скошенными растениями.

Навешивание, эксплуатация, обслуживание и текущий ремонт машины осуществляет один человек (тракторист–машинист). Регулируемая система навески машины позволяет проводить скашивание как по оси движения трактора, так и со смещением в любую сторону до 500 мм. Производительность при кошении до 2,0 га/ч, масса – 300 кг, режущий аппарат состоит из подвижных и неподвижных ножей, ширина захвата – 2,4 м, рабочая скорость при кошении – от 3 до 10 км/ч, агрегатируется с тракторами тягового класса 1.4.

В НПСХП "Наука" был изготовлен мульчирователь–измельчитель для скашивания травостоя в междурядьях многолетних насаждений (рисунок 1.14). Ножи мульчирователя-измельчителя расположены на валу с горизонтальной осью вращения и работают на высоких скоростях, при этом они способны обеспечивать сплошной, равномерный срез травы и измельчение грубых растительных остатков.

Рисунок 1.14 – Мульчирователь-измельчитель ИВС–2.5

Недостатком такого типа мульчирователей является большое потребление энергии на выполнение технологического процесса по сравнению с ротационными косилками.

1.2.4 Косилки, позволяющие транспортировать скошенную массу

В конструкциях косилок для транспортировки скошенной массы используют специальное оборудование: направляющие устройства, транспортеры или вентиляторы, устанавливают на ножи дополнительные пластины для отбрасывания скошенной массы за счет удара. Недостатком конструкции таких косилок является высокая энергоемкость при выполнении технологического процесса из–за применения дополнительного специального оборудования для транспортировки скошенной массы.

По материалам исследований Хатунцева В.В. (Мичуринск, 2009 г.) [130] в ООО «Научно–производственный центр «ТехноСад» была изготовлена косилка–мульчирователь для залуженной технологии содержания междурядий (рисунок 1.15).

Рисунок 1.15 – Косилка–мульчирователь КС–М 2,5

Косилка–мульчирователь состоит из двух секций, на каждой секции установлено по три вращающихся ротора. Во время движения косилки по междурядью травостой скашивается ножами, установленными на роторах. Часть скошенной зеленой массы выбрасывается в приствольную полосу в направлении вращения за счет энергии удара, передаваемого ножами. Другая часть травы попадает в зону, где действуют ножи второго ротора и технологический процесс повторяется. Так как ось центров роторов смещена под углом к прямолинейному направлению движения косилки, образуется зона выброса скошенной массы, необходимая для совершения технологического процесса. Рабочая ширина захвата косилки 1,85 м, частота вращения роторов – 1000 об./мин.

Фирмой «Krone» (Германия) предлагается комбинированный агрегат из трех косилок EasyCut 9140 (рисунок 1.16), фронтальная косилка имеет массу около 1000 кг, обе задненавесные косилки – 2750 кг.

Рисунок 1.16 – Комбинация косилок EasyCut 9140

Косилки позволяют перемещать скошенную массу за счет использования транспортерной ленты, что значительно увеличивает массу и энергоемкость всего агрегата.

В специальном конструкторском бюро "Мелиормаш" (г.Минск) была разработана трех дисковая косилка к каналоочистителю ЭМ–202. Косилка предназначена для удаления травостоя из откосов каналов. Там же разработана и изготовлена косилка МР–7, которая отличается от ЭМ–202 тем, что на валах рабочих органов были установлены вентиляторы, способствующие удалению срезанного материала [121, 130], что увеличивает массу и энергоемкость машины при осуществлении технологического процесса.

Зарубежными производитедлями, такими как голландские фирмы «Van Byrg», «Van Wamels Ma–chinefabriek», «Vogelenzang», фирмы «Brilliton» (США) и др. были разработаны конструкции косилок, оснащенные различными устройствами и приспособлениями для усовершенствования процесса резания стеблей [73, 139, 140, 1535 156]. Общими недостатками предлагаемых косилок «Byrg», «Perfekt–Super», «Votex–Hexa», «Split–Axle», «RSS–112» является высокая энергоёмкость, неудовлетворительная работа на неровных рельефах с множеством камней. Громоздкие конструкции машин не могут обеспечить достаточную маневренность в узких междурядьях виноградников и садов.

Применение иностранных машин сдерживает их высокая стоимость, дорогостоящее обслуживание, дороговизна приобретения запчастей.

Анализ конструкций машин, предусматривающих перемещение скошенной массы в сторону от прокоса, показал неспособность справляться с проблемой качественного скашивания примятого, перепутанного травостоя, подъёма и измельчения веток, лозы и других растительных остатков.

Машины иностранного производства являются нерентабельными в применении для средних и малых хозяйств. Промышленное производство аналогичных машин на территории Крыма требует переоборудования технологических линий производства, приобретения патентов, что также представляется весьма дорогостоящим и затруднительным, и повлечет за собой высокую стоимость производимой продукции.

1.3 Проблема скашивания полеглого и примятого травостоя

За серийными косилками наблюдается неспособность удовлетворительно скашивать полеглые и примятые стебли. Наклон стеблей отрицательно сказывается на качестве скашивания травостоя. Схема кошения наклоненных стеблей представлена на рисунке 1.17.

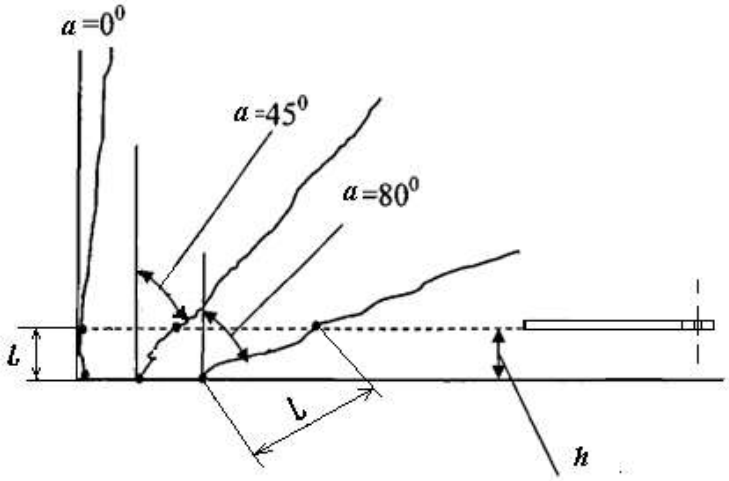


Рисунок 1.17 – Схема расположения стеблей при различных углах полеглости (α)

Так, при большом угле полеглости (α) стебель находится ниже уровня среза (h) и ножи не могут осуществить срез растения, что приводит к пропускам. Высота среза (L) напрямую зависит от угла полеглости (α). Степень полеглости, спутанности и примятости травостоя в междурядьях садов и виноградников велика, также стебли прикатывается колесами трактора, выполняющего агротехнические операции. Все это обусловливает большое количество нескошенных (частично скошенных) растений. Пропущенные (нескошенные) стебли продолжают свой рост. По агротребованиям траву необходимо скашивать до определенной стадии вегетации. Достижение высоты стебля более 40 см приводит к осложнению скашивания и измельчения, повышается потребление питательных элементов из почвы и увеличивается нагрузка на культурные растения. Сидераты подавляют рост сорняков, но чтобы они сами не были сорняками, их до образования семян необходимо скашивать [83]. Большое количество пропусков приводит к необходимости повторного прохода косилки т.е. к увеличению количества операций скашивания за сезон, что влечет повышение затрат.

Проблема кошения примятого, перепутанного или полеглого травостоя с одновременным перемещением скошенной и измельченной массы в приствольную полосу касается практически всех существующих конструкций косилок. На данный момент нет машины, способной осуществлять подъем полеглого и примятого травостоя, его срез, измельчение и транспортировку массы из междурядья в приствольную полосу.

Данная проблема может быть устранена за счет использования воздушного потока, создаваемого ножами косилки, для подъёма примятой травы. Исследование взаимодействия рабочего органа со скошенным стеблем и, воздушного потока, создаваемого ножами ротора, позволит рассчитать геометрию ножа, способную обеспечить достаточное разряжение для подъёма смятых стеблей, их среза и транспортировку в приствольную полосу. Изменение конструкции кожуха позволит обеспечить направленное перемещение скошенной массы без увеличения веса и габаритов машины. Что позволит осуществлять срез

на одной высоте от поверхности почвы независимо от рельефа и существенно облегчить процесс кошения, измельчения и перемещения массы в заданном направлении.

1.4 Обзор теоретических исследований параметров и режимов работы ротационных режущих аппаратов

Анализ существующих машин показал, что для среза травостоя в междурядьях садов и виноградников применяются косилки с роторными режущими аппаратами, которые осуществляют обычный скользящий срез плоским круглым горизонтальным, наклонно расположенным или свободно шарнирно закрепленным ножом. Простота конструкций и высокое качество процесса среза обуславливают широкое применение таких аппаратов для различных сельскохозяйственных культур.

Наиболее важными показателями, характеризующими энергетическую и качественную оценку бесподпорного резания в основном являются: скорость вращения ножей, поступательная скорость движения агрегата, вид разрушающих напряжений, усилие резания, физико–механические характеристики скашиваемых растений, от которых зависят параметры ротационных режущих аппаратов [53].

Отечественные ученые, как и зарубежные, занимались исследованием процесса бесподпорного резания, созданием теории расчета технологических и конструктивных параметров ротационных режущих аппаратов. Основная работа была направлена на определение одного из главных параметров рабочего органа – оптимальной скорости вращения ножа, которая позволяет осуществить бесподпорный срез стеблей. Академики В.П. Горячкин [24], А.Ю. Ишлинский [51]; профессора М.Б. Угланов [127], В.А. Желиговский [41], В.И. Фомин [128, 129], Ю.Ф. Новиков [91], С.В. Мельников [81] и другие отечественные ученые, а также зарубежные – Чанселор У. [138], Принц Р. [151], Феллер Р. [142], МакРендал Д. и МакНалти П. [147, 148] занимались изучением вопроса бесподпорного среза растений [60]. Основные условия для осуществления

бесподпорного (в некоторых источниках встречается как инерционная опора) среза стеблевых растительных культур, были впервые теоретически рассмотрены В.П. Горячкиным [23] относительно отдельного свободно расположенного стебля, растущего из почвы. В последующем этот вопрос рассматривался Е.М. Гутьяром [30], А.Ю. Ишлинским [51] и был предметом аналитических исследований Е.С. Босого [11], Н.Ю. Резника [103, 104], И.Ф. Василенко [17].

При расчете теории работы ротационного режущего аппарата разрабатываемой нами косилки классическая теория бесподпорного среза стебельных культур может иметь с ней много общего. Однако, из–за отличия физико-механических свойств срезаемых растений и условий работы косилки, особенно в условия крымского агрофона (запутанный травостой, наличие остатков грубых веток и лозы в междурядьях, каменистые неровные почвы и др.), отдельных конструктивных отличий, может иметь ряд особенностей.

При создании режущего аппарата ротационной косилки для скашивания сидератов в междурядьях садов и виноградников могут быть использованы основные положения классической теории бесподпорного среза зеленой массы ротационным аппаратом с вертикальной осью вращения, которая обстоятельно разработана Е.С. Босым [11].

Теория работы роторного рабочего органа, осуществляющего бесподпорный срез, имеет множество различий, так как оценка работы механизмов осуществлялась в различных условиях, конструкции машин отличались друг от друга, скашиваемый материал был неоднороден и имел различные физико-механические свойства.

Академик Горячкин В.П. впервые рассмотрел бесподпорное взаимодействие лезвия ножа со свободным стеблем [23]. Он определил скорость ($V_н$) ножа, которая необходима для излома свободно стоящего стебля:

$$V_H = K\sqrt{\frac{q}{m_c}}\ , \qquad (1.1)$$

где K – отгиб стебля;

q – коэффициент упругости стебля;

m_c – масса стебля.

Усилие, затрачиваемое на срез, ($P_{ср}$) ротационным режущим аппаратом гасится благодаря сопротивлению стебля отгибу ($P_{отг}$) и инерционной силе ($P_{ин}$) (рисунок 1.18) [99].

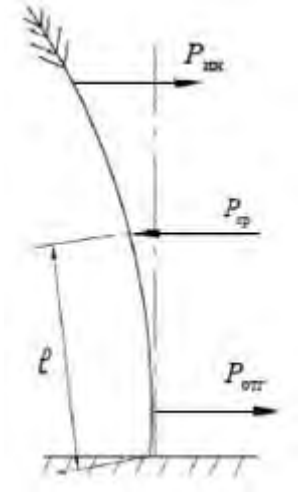


Рисунок 1.18 – Силы, которые действуют на стебель при бесподпорном резании

Во время контакта с роторным режущим аппаратом процесс взаимодействия является ударом, при котором возникают упругие колебания. Данные колебания распространяются по стеблю со скоростью выше 30 м/с в форме продольных и поперечных волн [91]. Сен–Венан и Нейман занимались изучением данного процесса [152]. В результате своих исследований они рассчитали теоретически, что в стержневых телах возникают изгибно–сдвиговые напряжения из–за воздействия удара.

$$\sigma = \frac{E_2 \rho_2^* V^2}{1+\frac{E_2 \rho_2^*}{E_1 \rho_2^*}}, \quad (1.2)$$

где E – модуль упругости;

$p*$ – плотность материала;

$\frac{}{p*}$ – скорость распространения продольных колебаний;

V – скорость смещения тела после столкновения (1– толкающее тело, 2 – толкаемое тело).

Наличие напряжения не приводит к излому стебля. Излом стебля происходит из–за поперечной деформации. Поперечная деформация в стебле выражается в виде:

$$\varepsilon = \frac{v}{E}\sigma, \tag{1.3}$$

где v – коэффициент Пуассона.

Рейнерс теоретически рассчитал критическую скорость излома для различных растительных материалов на основе этих зависимостей [152]:

$$V = \frac{\varepsilon_k}{v}(1 + \frac{E_2\rho_2^*}{E_1\rho_1^*} + \frac{E_2}{\rho_2^*}), \tag{1.4}$$

Из этой зависимости видно, что критическая скорость излома в главной мере зависит от физико-механических свойств соударяющихся тел.

Согласно исследованиям Е.С. Босого, при динамическом воздействии режущего элемента происходит срез стебля [11].

Условие, необходимое для срезания стебля режущим элементом с определенной скоростью выражается в виде [11]:

$$R_S < P_и + P_{ин} + P_{в+}P_c, \tag{1.5}$$

где R_S – сила, необходимая для перерезания стебля;

$P_и$ – сопротивление стебля изгибу;

$P_{ин}$ – сила инерции стебля;

$P_в$ – сила сопротивления воздуха при отклонении стебля;

P_c – сопротивление отклонению стебля рядом стоящих стеблей.

Для расчета скорости резания режущим элементом одиночно стоящего стебля силы (P_B) и (P_c) не учитывают [11].

Интерес представляют исследования, проводимые в «РУП НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». Исследования были направлены на экспериментальное определение влияния массы стебля и вида ножа (гладкий и насеченный) на необходимую скорость среза ротационным рабочим органом

люпина и стеблей тимофеевки [23, 99]. Результаты исследований представлены в таблице 1.1.

Для 100%–ого среза стеблей люпина окружная скорость ножа составляет от 11 м/с (для насеченного ножа) до – 15 м/с (для гладкого ножа). При 100%–ом срезе стеблей тимофеевки окружная скорость ножа была в несколько раз больше, чем для скашивании люпина и составляла – 30 м/с при насеченном лезвии и 35 м/с при гладком лезвии. На основании проведенных экспериментов можно сделать вывод, что с увеличением веса стебля, уменьшается скорость ножа, необходимая для среза растений. Как показали эксперименты, проведенные Поповым В.Б., чем меньше скорость срезания, тем больше потери зеленой массы, так как срез получается неполный и увеличивается высота стерни [99].

Таблица 1.1 – Результаты эксперимента по определению необходимой скорости среза ротационным рабочим органом, ИМЭСХ («РУП НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»)

Процент среза травостоя	Окружная скорость ножа при срезе, м/с			
	люпин		тимофеевка	
	вид лезвия		вид лезвия	
	насеченное	гладкое	насеченное	гладкое
0	1.4	2.2	2.5	3.2
30	2.2	3	6.5	7.9
50	4.2	6	10.4	12,8
70	6.6	9	16.8	20.8
100	10.8	15	30.2	35

Скорость лезвия, которая необходимая для срезания свободного стебля в момент первого контакта, когда величина отклонение стебля наименьшее, выражается в виде [104]:

$$V_H = \frac{\alpha_{max}(q_{np}+k)}{q_{np}t_p+\frac{k}{\omega}sin\omega t_P}, \quad (1.6)$$

где $\alpha_{max} = R_S/k$ – максимальное значение упруго–пластической деформации, см;

R_S – сила резания, Н;

$q_{пр}$ – приведенный коэффициент упругости стебля, кг/см;

k – коэффициент жесткости;

$t_р$ – время, необходимое для перерезания свободно стоящего стебля, с.

Из данных зависимостей можно сделать вывод, что минимальную скорость резания V_H (минимальная скорость резания V_H встречается в литературе как критическая скорость резания $V_{кр}$,) определяют физико–механические свойства срезаемого материала (жесткость, плотность, величина отгиба стебля при резании, модуль упругости и др.) [59].

Из исследований [72, 104] видно, что скорость срезания стеблей растений ($V_{кр}$) при бесподпорном способе резания будет находится в пределах от 6 до 10 м/с. Однако, с увеличением значения этой критической скорости ($V_{кр}$) до 25 м/с необходимое усилие резания существенно снижается. Последующее увеличение скорости приведет к незначительному снижению этого усилия. Из условия снижения мощности для привода роторного режущего аппарата, значение скорости срезания стебля принимают равной [104, 130]:

$$V_P = (3 \dots 5)V_{кр}\ , \tag{1.7}$$

Экспериментами по определению критической скорости резания ($V_{кр}$) растений занимались и другие отечественные и зарубежные ученые. Опыты Е.М. Гутьяра показали, что критическая скорость резания для тонкостебельных культур находится в пределах 8–16 м/с [30]. И.Ф. Василенко [17] определил обратную зависимость между критической скоростью резания и сопротивлением стебля резанию. И.С. Сулейманов и А.М. Карланов рассчитали оптимальное необходимое число оборотов для среза стебля [120]. При определении выражения для деформации стебля учли факт изменения величины площади сечения стебля по высоте. И.С. Сулейманов и А.М. Карланов вывели следующую зависимость минимального числа оборотов ротационного режущего аппарата:

$$n = \frac{30 l_c}{\pi}\sqrt{a\frac{EJ}{J_{ст}k}}\ , \tag{1.8}$$

где E, J – жесткость и момент поперечного сечения стебля растения;

J – инерционный момент стебля для его продольной оси;

l_c – высота стерни;

k – постоянный коэффициент;

a – количество растений на 1 м^2.

Сравнение теорий, результатов исследований показали существенные различия в определении оптимальной окружной скорости для ротационного режущего аппарата (т.е. минимальной скорости режущей кромки, для обеспечения мгновенного разделения свободного стебля на отдельные части).

Исследования Mc.Randal показывают, что критические скорости бесподпорного среза стеблей растений составляют примерно 20 м/с [148]. По В.И. Фомину, верхние значения критической скорости, при которой высота среза практически равна высоте стерни, находятся в области 45–60 м/с [117, 128, 129]. Согласно работе [149], можно отметить, что для ножей с острозаточенной режущей кромкой оптимальная скорость резания составляет 60 м/с, для затупленных – 80 м/с. Каифаш Ф. в своей работе отмечает, что оптимальная окружная скорость ножей будет зависеть от скорости и объёма подачи скашиваемого материала в режущий аппарат [52]. Чем больше подача массы, тем выше предельные значения скорости режущей кромки ножей. Например, при подаче 4,2 кг/с оптимальная скорость резания будет равна 50–60 м/с. В.И. Фомин утверждает [129], что скорость среза выше верхней критической является нецелесообразной, так как влечет за собой увеличение энергетических затрат, не оказывая дополнительного положительного эффекта на качество выполнения рабочего процесса [57]. В работе Корниловича Р.А. произведено сравнение энергоемкости кошения, из которого видно, что результаты проведенных исследований различными учеными сильно отличаются друг от друга (рисунок 1.19) [57].

График изменения мощности, затрачиваемой при срезе растений ($N_{уд}$), от величины скорости резания ($V_р$) представлен на рисунке 1.19 [57]. Кривые, обозначенные цифрой 1, демонстрируют зависимости, полученные в результате

исследований Мак Рендала [148], 2 – Каифаша Ф. [52], 3 – Карпенко М.И [51]. Некоторые работы зарубежных исследователей [137, 148] рекомендуют оптимальную скорость бесподпорного резания в области 80–90 м/с, объясняя это тем, что при таких скоростях энергия, затрачиваемая на весь процесс скашивания, минимальна.

Но осуществление этого предложения ускорит износ различных элементов конструкции агрегата (рабочих органов, привода и т.п.) и повысит требования к точности его изготовления, что неизменно повлияет на стоимость всей машины.

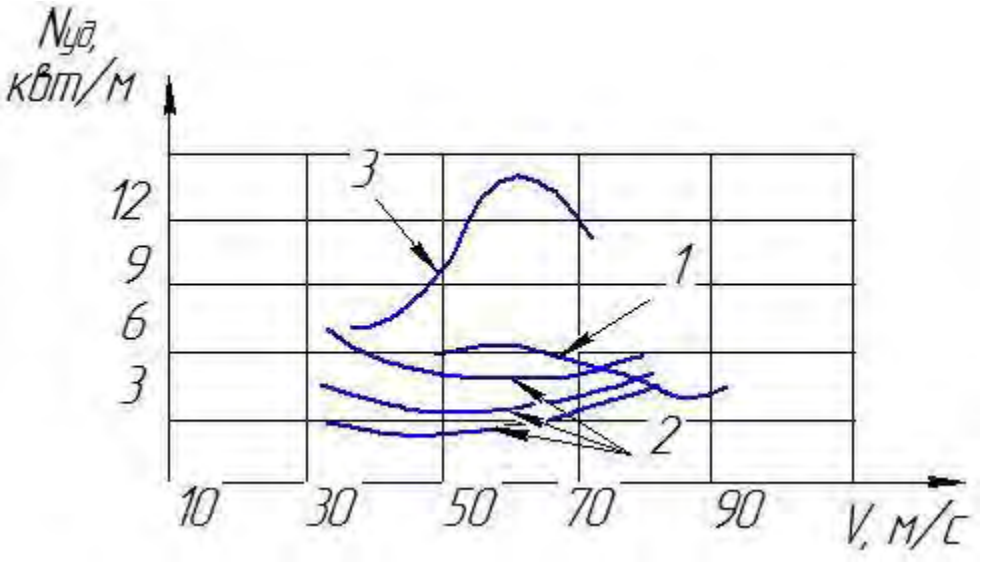


Рисунок 1.19 – Сравнительные результаты энергоемкости кошения по Корниловичу Р.А.

Исследования американской фирмы «Дир энд Компани» определили, что снижение скорости резания хотя бы наполовину приведет к уменьшению затрачиваемой энергии примерно на четверть [79].

Наряду со скоростью резания, немаловажным фактором, влияющим на качество и энергоемкость резания стебля, является угол наклона режущей кромки в плоскости резания. В различных работах этот показатель обосновывается по–разному. Например, в работах Дацишина А.В. [32], Ивашко А.А. [50], Макарова О.В. [72], Розинцева В.Д. [105], Сизова О.А. [112], Швеца Д.С. [135] рекомендуется наклонять нож назад для уменьшения удельной силы и энергии резания, а в работе Погорельца А.Н. [97] – вперед, так как при таком

расположении режущей кромки наблюдаются более благоприятные условия резания. Имеют место теории, в которых обосновывается, что при расположении ножа без наклона достигаются минимальные энергозатраты [41, 107]. Н.Е.Резник экспериментальным путем установил зависимость удельной энергии, потраченной на срез, от величины угла наклона лезвия. Эта зависимость позволила определить угол наклона ножа в 35°...40°, при котором достигается минимальная энергоемкость. Он объяснил такое явление изменением угла заточки лезвия [103, 104].

Из исследований Т.И. Егоровой [39] видно, что чем меньше угол заточки ножа, тем меньше необходимо затратить усилий на срез стеблей. Фомин В.И. также указывал, что уменьшение угла заточки лезвия ножа влияет на снижение критической скорости резания [128, 129]. По результатам его исследований, при наклоне ножа в пределах от 15˚ до 34˚ требования будут удовлетворены в наиболее полной степени. Исследования в этой области велись и зарубежными учеными. Д.М. Рендал и П.Б. Нульти рекомендуют заточку ножа в 45° для уменьшения энергоемкости процесса среза стеблей на 5...10 % [147].

Несмотря на различные способы и подходы по обоснованию заточки ножа многие ученые считают, что наиболее целесообразным будет нижняя заточка лезвия [11, 136]. Так Штомпель Б.Н. указал, что именно для нижней заточки минимальная критическая скорость снижается на 25%. В свою очередь Е.С. Босой считает, что нижняя заточка ножа увеличивает расщепление стерни благодаря воздействию на стебли фаски ножа, и для более качественного среза предпочтительно использовать верхнюю заточку ножа [53].

Академик Желиговский В.А. дал объяснение влиянию угла отклонения растения при взаимодействии с ротационным рабочим органом [41]. Угол наклона лезвия (рисунок 1.20) напрямую влияет на усилие сопротивления и скорость резания. При большом угле наклона ножа ($\alpha > 30°$) имеет место значительного снижения сопротивлению резания, а с уменьшением этого угла ($\alpha < 30°$) сопротивление резанию значительно увеличивается. Но увеличение наклона

лезвия свыше 45° приводит к выскальзыванию стеблей растений при их срезании [130].

Динамический отгиб f (мм) зависит от окружной скорости вращения ножей V (м/с) и времени, потраченного на срез t (с) [99]:

$$f = V \cdot t\,, \tag{1.9}$$

Из исследований, направленных на изучение процессов замещения свободно стоящего стебля, определено условие, когда стебель не выскальзывает с лезвия:

$$\alpha \le \varphi, \tag{1.10}$$

где φ − угол трения стебля о режущую кромку лезвия.

Из работы Турбина Б.Г. [125], угол трения стебля о лезвие ножа будет находится в пределах: для гладкого лезвия φ = 28°, для лезвий с насечками на режущих кромках φ = 51° − 53°. Условием среза ротационным режущим органом с гладкими ножами без соскакивания стебля будет: $\alpha \le 28°$.

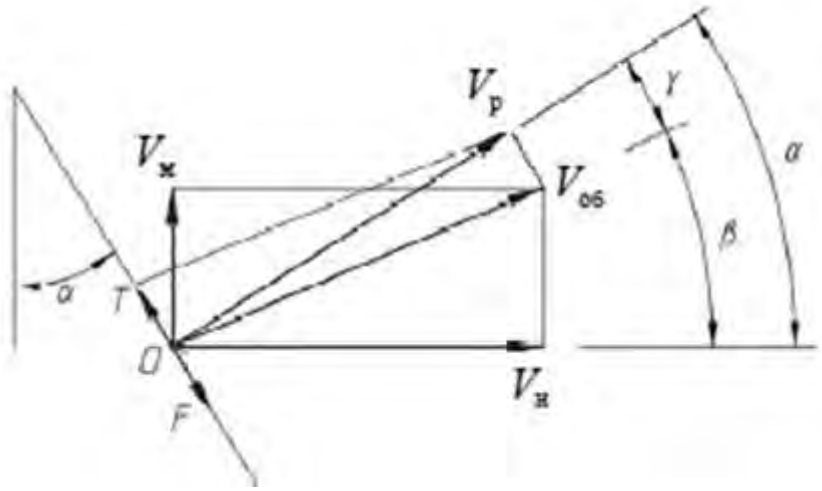


Рисунок 1.20 – Влияние угла наклона лезвия ножа

Установлено, что для нижнего расположения фаски и угле наклона 19° скорость резания снижается на 25 %. Нижняя фаска приводит к снижению усилия сопротивления резанию благодаря наличию косого среза. При двухсторонней фаске скорость резания уменьшается незначительно в сравнении с нижним расположением фаски [99].

Изложенные выше теоретические и экспериментальные данные сильно различаются, поэтому не могут в полной мере быть использованы для обоснования конструктивных и технологических параметров ротационного режущего аппарата. Это связано с тем, что исследования и наблюдения проводились для различных материалов разным по своим механическим свойствам и для различных условий.

На процесс резания, энергетическую оценку и качество выполнения технологического процесса скашивания травостоя непосредственное влияние оказывает поступательная скорость агрегата.

Поступательную скорость агрегата (V_{min}), можно определить как [99]:

$$V_{\min} \leq \frac{n}{60} \cdot h_{\min}, \tag{1.11}$$

где n – число оборотов ножей ротора;

h_{min} – наименьшая подача за один оборот ножа, при которой стебель не будет соскальзывать с передней кромки ножа:

$$h_{\min} \geq 2\pi \cdot r \cdot tg(\alpha - \varphi), \tag{1.12}$$

где − r вылет передней кромки ножа;

α – угол наклона лезвия;

φ – угол трения стебля о лезвие сегмента.

При несоблюдении оптимальной скорости движения агрегата (когда скорость машины не соответствует числу оборотов ножа), работа может выполняться неудовлетворительно (не в соответствии с агротребованиями): некоторые участки травостоя могут перекрываться ножами ротора дважды, что приводит к дополнительным энергозатратам, а отдельные – ни разу, что приводит к потерям в виде пропущенных, не срезанных стеблей.

Поступательная скорость движения агрегата можно определить из следующего условия [99]:

$$V_{\min} \leq h'_{\max} \frac{\omega}{2\pi - \alpha_{см}}, \tag{1.13}$$

где $h'_{\max}$ – максимальная подача массы на один нож;

ω − угловая скорость ножа;

$\alpha_{см}$ – угол между двумя смежными ножами.

Особов В.И. рекомендует поступательную рабочую скорость косилок при выполнении технологического процесса в пределах 6–10 м/с, а косилки с ротационным режущим аппаратом могут удовлетворительно работать и на повышенных скоростях 10 –15 м/с [93].

Из анализа вышеприведенных результатов исследований, технической литературы, можно сделать вывод, что необходимая и достаточная окружная скорость для перерезания тонкостебельных культур ротационным рабочим органом лежит в пределах 30–60 м/с, угол наклона лезвия для односторонней верхней заточки – 20°. Научно–производственным сельскохозяйственным предприятием "Наука" (г. Симферополь, Республика Крым) совместно с кафедрой технических систем в агробизнесе Академии биоресурсов и природопользования КФУ им В.И. Вернадского, при участии д.с.–х.н. профессора Догоды П.А. был изготовлен ряд экспериментальных косилок с окружной скоростью ножей 40 м/с (рис 1.13). Машины работали в агрегатировании с трактором тягового класса 1.4 с рабочей скоростью 10 км/ч. В процессе эксплуатации данные агрегаты подтвердили результаты теоретических исследований и рациональность выбранных технологических и кинематических параметров.

Рассчитывая оптимальные конструктивные и технологические параметры рабочих органов, существующие теории не принимают в расчет силу воздушного потока, который создается при вращении роторов, его влияние на жесткость стебля, подъёмную силу. Расчет параметров рабочего органа косилки, конструкция которого бы позволила дополнительно усилить создаваемый ножами воздушный поток и обеспечить выброс скошенной массы в заданном направлении, требует дополнительного теоретического исследования.

Влияние воздушного потока, создаваемого ножами ротора, на процесс резания и на весь технологический процесс в целом до конца не исследован.

Воздушный поток способен обеспечить подъем примятого и перепутанного травостоя, тем самым улучшая измельчение материалов и повышая качество кошения.

1.5 Выводы по разделу

1. Залужение междурядий с мульчированием приствольных полос является наиболее рациональной технологией содержания междурядий садов и виноградников. Скашивание травостоя и мульчирование приствольной полосы рационально объединить в одну технологическую операцию.

2. Косилки с ротационным режущим аппаратом, работающие по принципу бесподпорного резания и с вертикальным расположением оси вращения ножей, являются наиболее надежными, простыми по устройству и наиболее приемлемы для скашивания травостоя в междурядьях садов и виноградников.

3. Недостатком зарубежных косилок является большая энергоёмкость, неудовлетворительная работа на неровных рельефах с множеством камней, высокая стоимость, дорогостоящее обслуживание.

4. Анализ имеющихся теорий, результатов выполненных ранее исследований показали существенные различия в обосновании параметров и режимов работы ротационного режущего аппарата, а также отсутствие теоретических исследований по транспортировке скошенной массы в заданном направлении.

5. В настоящее время отсутствуют отечественные машины, которые бы соответствовали основным условиям технологического процесса, обеспечивали ровный сплошной срез травы и перемещение скошенной массы в приствольную полосу. Также необходимо определение рациональных параметров рабочих органов роторной косилки с учетом воздушного потока, создаваемого рабочим органом.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОСИЛКИ ДЛЯ СКАШИВАНИЯ СИДЕРАТОВ В МЕЖДУРЯДЬЯХ САДОВ И ВИНОГРАДНИКОВ

2.1 Конструкция и принцип работы предлагаемой косилки

Предлагаемая конструкция косилки (рисунок 2.1) состоит из рамы, присоединяемой к навесному устройству (1) на опорных колесах. На раме установлен кожух (3) с двумя роторами (5), каждый ротор помещен в кожух в форме улитки (4). Привод осуществляется от вала отбора мощности трактора через систему конических редукторов (2). Рабочие ножи (6) установлены на роторе шарнирно и способны отклоняться при встрече с посторонними предметами. Роторы с ножами вращаются в противоположных направлениях, что снижает вибрацию машины и ее занос во время работы. Ножи снабжены лопастями (7). Боковые противорезы (9) исключают забивание рабочих органов скошенными растениями. В кожухе имеются выходные отверстия 8. Эксплуатацию и обслуживание проводит один человек. Регулируемая система навески машины позволяет проводить скашивание как по оси движения трактора, так и с боковым и угловым (относительно продольной оси трактора) смещением в любую сторону до 500 мм. Косилка имеет регулировку по высоте кошения от 50 до 300 мм и способна работать на склонах до 10°.

Технологический процесс происходит следующим образом: при движении агрегата по междурядью зеленая масса попадает под вращающиеся ножи и скашивается. Благодаря боковым противорезам и неоднократному перерезанию скошенная масса измельчается. Лопасти, установленные на ножах, создают воздушный поток, который поднимает примятый травостой, способствуя равномерному скашиванию. Скошенный стебель движется по лопасти и под действием центробежной силы получает ускорение и сходит с лопасти. Геометрия кожуха направляет воздушный поток в выходное отверстие, транспортируя измельченную массу в приствольную полосу. Выходные отверстия кожухов

роторов направлены в противоположные стороны, что позволяет выбрасывать массу в правый и левый ряд, соответственно, по ходу движения агрегата [47, 63, 95].

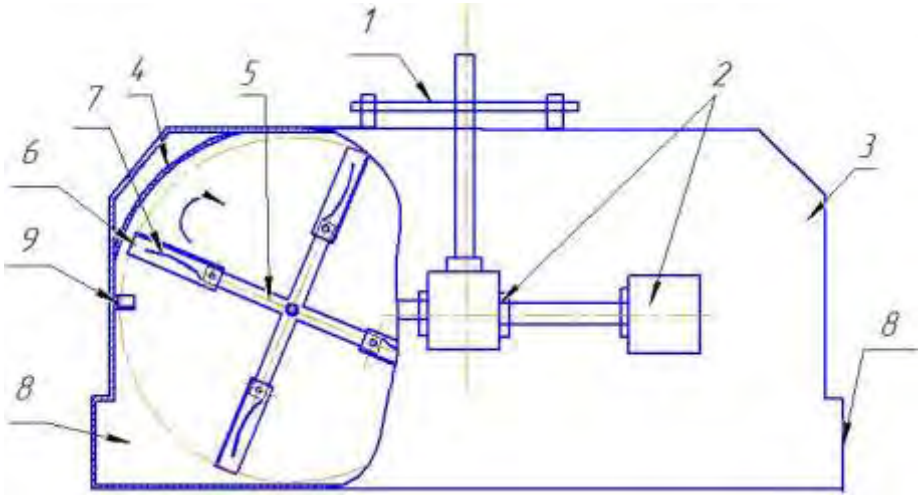


Рисунок 2.1 — Косилка для скашивания травостоя в междурядьях садов и виноградников

При проектировании конструкции рабочего органа косилки необходимо учитывать некоторые ограничения, обусловленные технологическими требованиями и режимами работы.

На процесс резания, энергоемкость и качество выполнения технологического процесса скашивания травостоя непосредственное влияние оказывает поступательная скорость агрегата, окружная скорость ножей и угол заточки лезвия. Диаметр ножей должен составлять 1,2 м, что обусловлено шириной захвата косилки равной 2,4 м для работы в насаждениях с междурядьями в 3 м. Косилка имеет возможность углового смещения относительно продольной оси трактора, тем самым регулируя ширину захвата.

Научно-производственным сельскохозяйственным предприятием "Наука" (г. Симферополь, Республика Крым) совместно с кафедрой технических систем в агробизнесе Академии биоресурсов и природопользования Крымского федерального университета, при участии д.с.-х.н. профессора Догоды П.А. был изготовлен ряд опытных косилок (рисунок 1.13). Машины работали в агрегатировании с трактором тягового класса 1.4, с рабочей скоростью 5–8 км/ч,

окружная скорость по концам ножей составляла 40 м/с, угол наклона лезвия с односторонней верхней заточкой равен 20°.

В процессе эксплуатации данные агрегаты подтвердили результаты теоретических исследований и рациональность выбранных технологических, кинематических параметров.

Рабочая гипотеза предполагает, что при вращении ротора лопасть, установленная на ноже, сталкивается с воздухом. При этом поток воздуха тормозится и изменяет направление движения, обтекая её (рисунок 2.2). Около передней поверхности лопасти возникает область с повышенным давлением воздуха, а около задней поверхности возникает область с пониженным давлением [122]. В области повышенного давления воздушный поток, обтекая лопасть, будет рассеиваться во всех направлениях прижимая растения к земле, но в зоне пониженного давления потоки воздуха приподнимают стебли, как бы укладывая их на нож.

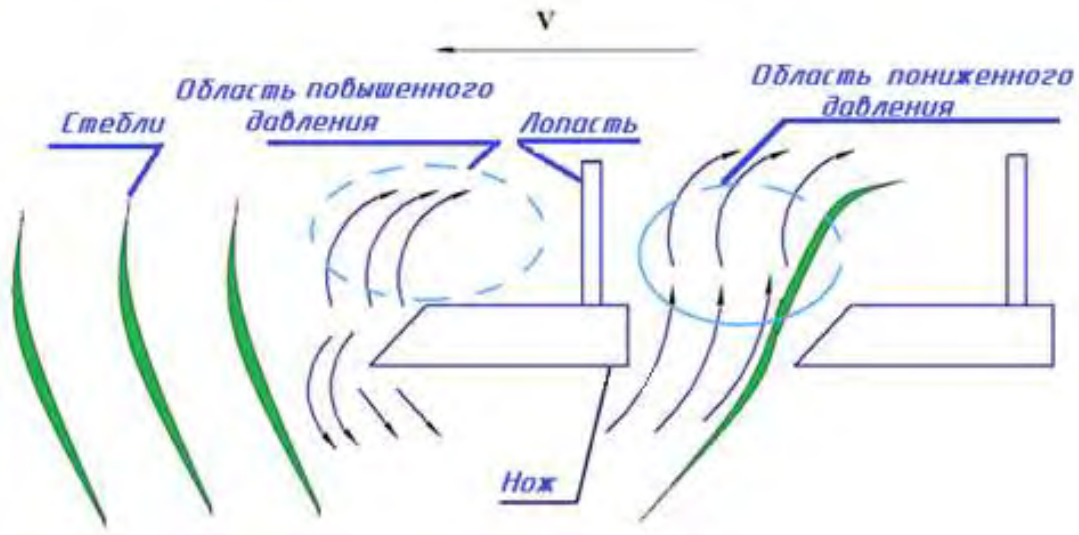


Рисунок 2.2 – Схема движения воздуха при соприкосновении с лопастью

При движении по междурядью ножи косилки скашивают травостой и измельчают. Применение ножей с лопастями позволит создавать разряжение, способное поднимать полеглый травостой для его более равномерного среза, тем самым уменьшить пропуски и повысить качество выполняемого технологического процесса. Кожух косилки, выполненный в форме улитки, будет

способствовать направленному перемещению скошенной и измельченной массы в приствольную полосу.

2.2 Расчет и построение кожуха косилки

Рабочие органы роторных косилок выполняют технологический процесс на высоких оборотах, окружная скорость ножей может достигать 70 м/с. При работе косилки измельченная масса, растительные остатки, комья земли, камни под действием центробежных сил, воздушных потоков разлетаются в разные стороны и способны травмировать людей, повреждать культурные насаждения, наносить ущерб технике. Для защиты от повреждений рабочие органы роторных косилок "одевают" в кожух. Кожух косилки выполняет несущую функцию, на него устанавливаются узлы машины: редукторы, валы роторов, крепятся конструктивные элементы и пр. В роторных косилках КИУ -2А (рисунок 1.12), косилке садовой КРС 1,7-3 (рисунок 1.10), косилке BERTI (Италия) для садов и виноградников (рисунок 1.9), косилке–измельчителе КВР-2.4 (рисунок 1.13) используются кожухи прямоугольной формы со скошенными углами. Такие конструкции способны обеспечить защиту от случайного вылета частиц из кожуха, но способствуют оставлению измельченной массы на поверхности междурядья.

В работе предлагается конструкция кожуха косилки выполненная в форме вентиляторной улитки. Расчет конструктивных параметров кожуха косилки выполняется по аналогии с расчетом кожуха центробежного вентилятора спиральной формы.

Кожух центробежного вентилятора выполняет две функции. С одной стороны, он является направляющим аппаратом для элементарных струек воздуха, выбрасываемых рабочим колесом вентилятора; с другой, – в кожухе уменьшается абсолютная скорость до некоторого значения, с которой воздух покидает его. Уменьшение скорости движения воздуха приводит к преобразованию части динамического давления в давление статическое. Это

преобразование сопровождается некоторыми бесполезными потерями, однако, в конечном счете статический напор, создаваемый вентилятором, возрастает [126].

У спирального кожуха (рисунок 2.3) расстояние между наружными концами лопастей и обечайкой не одинаково, а постепенно увеличивается по направлению вращения и достигает своего максимального значения у выходного канала [126]. При такой форме кожуха воздух будет сходить с лопастей постепенно и равномерной струей выходить из канала вентилятора.

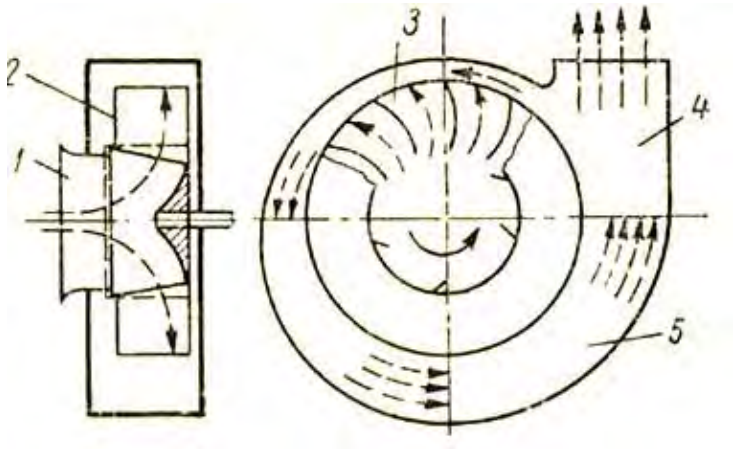


Рисунок 2.3 – Схема центробежного вентилятора

В центробежном вентиляторе с односторонним подводом воздуха последний из пространства всасывания, при движении в направлении оси через впускной коллектор (1), попадает в зону вращающегося колеса (2), которое снабжено лопастями (3). Воздух меняет направление движения от оси к периферии лопастного колеса, закручиваясь по направлению вращения, поступая далее в кожух (5), выполненный форме спирали, а после проходя выходное отверстие (4) покидает вентилятор непосредственно в пространство нагнетания [126].

Спиральные кожухи выпускаются с прямоугольным и круглым выходным каналом. В сельском хозяйстве получили распространение кожухи с прямоугольными выходными каналами и параллельными боковыми стенками. Построение профиля кожуха приведено на рисунке 2.4. Размеры спиральных кожухов вентиляторов принимают по ГОСТу 5976–90 [25, 54].

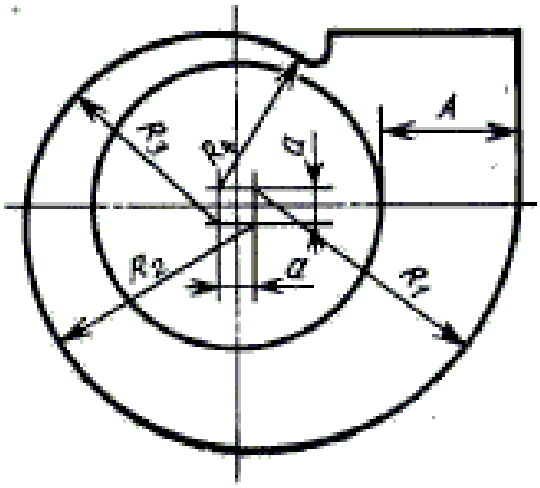


Рисунок 2.4 – Схема построения профиля спирального кожуха

Конструктивные размеры принимаются в процентном соотношении от диаметра D_2 согласно таблице 2.1 [54].

Таблица 2.1 – Зависимость размеров кожуха от разворота *A*

Размеры в % от D_2						
A	*a*	R_1	R_2	R_3	*L*	*M*
20	5,0	67,5	62, 5	57,5	130	120
30	7, 5	76,25	68, 75	61,25	145	130
40	10,0	85,00	75, 00	65,00	160	140
50	12,5	93,75	81 , 25	68,75	175	150
60	15,0	102,50	87, 50	72 50	190	160
70	17,5	111,25	93, 75	76, 25	205	170

где *A* - разворот кожуха, м;

R_1, R_2, R_3 – радиусы построения спирали, м;

L – длина кожуха, м;

M – ширина кожуха, м;

$D_1 = 2r_1$ – внутренний диаметр лопастного колеса, м;

$D_2 = 2r_2$ – внешний диаметр лопастного колеса, м.

Учитывая конструктивные и технологические особенности разрабатываемого нами кожуха косилки и учитывая режимы работы определяем следующие параметры для построении кожуха косилки (таблица 2.1):

$A_к=0,55$ м; $a=0,137$ м; $R_1=0,86$ м; $R_2=0,73$ м; $R_3=0,59$ м; $L=1,59$ м; $M=1,326$ м.

2.3 Геометрические параметры лопастей

Многообразные формы лопастей центробежных лопастных машин делятся на три основных вида от величины выходного угла (α_2) (рисунок 2.5) [25, 133].

В центробежных вентиляторах применяются прямолинейные и криволинейные лопасти. Прямолинейные лопасти могут быть радиальными (рисунок 2.5, а) и отогнутыми назад (рисунок 2.5, б). У радиальных лопастей углы (a_1) и (α_2) равны нулю, а у отогнутых назад $\alpha_1>\alpha_2$; при этом α_1 не превышает 40°. Углы (a_1) и (α_2) у вентиляторов с отогнутыми назад лопастями зависят от внутреннего и внешнего диаметров колеса и определяются из соотношения [126]:

$$\frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2} = \frac{D_2}{D_1}, \tag{2.1}$$

где D_1 и D_2 – внешний и внутренний диаметр "лопастного колеса" (лопастей на ножах рабочего органа), м.

У криволинейных лопастей угол (α_1) всегда больше нуля и доходит в некоторых конструкциях до 55°. В зависимости от величины угла (α_2) различают три типа криволинейных лопастей:

– отогнутые назад $\alpha_2>0$ (рисунок 2.5, в);

– радиально оканчивающиеся $\alpha_2=0$ (рисунок 2.5, г);

– отогнутые вперед $\alpha_2<0$ (рисунок 2.5, д).

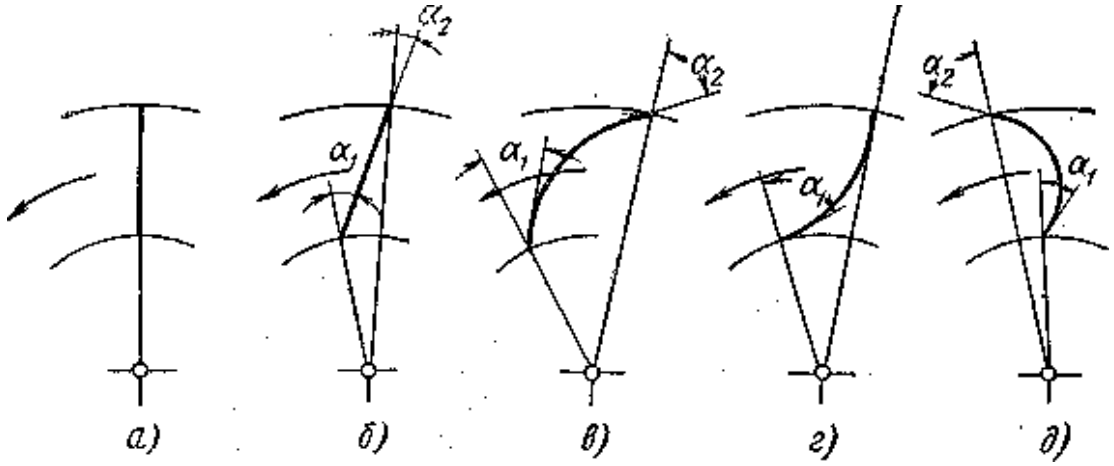


Рисунок 2.5 – Форма лопастей в зависимости от угла α_2

Профилем криволинейных лопастей служит, как правило, дуга окружности радиусом R. Радиус кривизны лопастей и радиус R_0 окружности центров лопастей (рисунок 2.6) определяются по формулам:

$$R = \frac{D_2^2 - D_1^2}{4(D_2 sin\alpha_2 - D_1 sin\alpha_1)}, \quad (2.2)$$

$$R_0 = \sqrt{\frac{D_2^2}{4} + R^2 - D_2 R sin\alpha_2}, \quad (2.3)$$

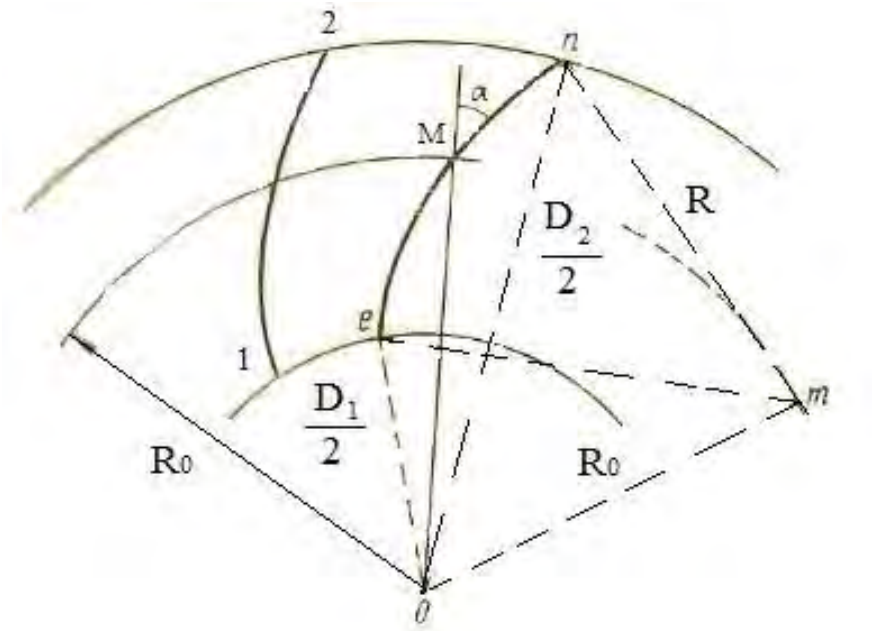


Рисунок 2.6 – Геометрические параметры лопасти

В сельскохозяйственных вентиляторах для транспортировки растительных материалов не используются криволинейные лопасти, отогнутые вперед, из-за возможности накопления измельченной массы, что ведет к забиваемости рабочего органа. Для проверки рабочей и научной гипотезы нами были рассмотрены три варианта решения: нож с прямолинейной радиальной лопастью (рисунок 2.5, а); нож с прямолинейной лопастью, отогнутой назад (рисунок 2.5, б); нож с криволинейной лопастью, отогнутой назад (рисунок 2.5, в). Для построения профиля лопасти, установленной на ноже, необходимо определение её основных конструктивных параметров – углов кривизны α_1 и α_2, радиуса кривизны R.

2.4 Исследование движения стебля по лопасти, установленной на ноже

После среза ножом стебель входит в соприкосновение с лопастью и движется вдоль неё. Стебель разгоняется под действием центробежной силы и сходит с лопасти.

На перемещающуюся по поверхности лопасти частицу действуют следующие силы: сила сопротивления воздуха ($\overline{F_в}$) (ветровая нагрузка), действующая в плоскости вращения и направленная перпендикулярно радиусу ротора; центробежная сила инерции ($\overline{F_ц}$), действующая по радиальному от оси вращения направлению; сила тяжести ($\bar{G}$), направленная вертикально вниз; реакция опоры ($\overline{N}$), перпендикулярная лопасти; сила трения ($\overline{F_{тр}}$), действующая в плоскости лопасти и направленная противоположно относительной скорости частицы; сила Кориолиса ($\overline{F_к}$), перпендикулярная вектору относительной скорости (лопасти) (рисунок 2.7) [9, 130].

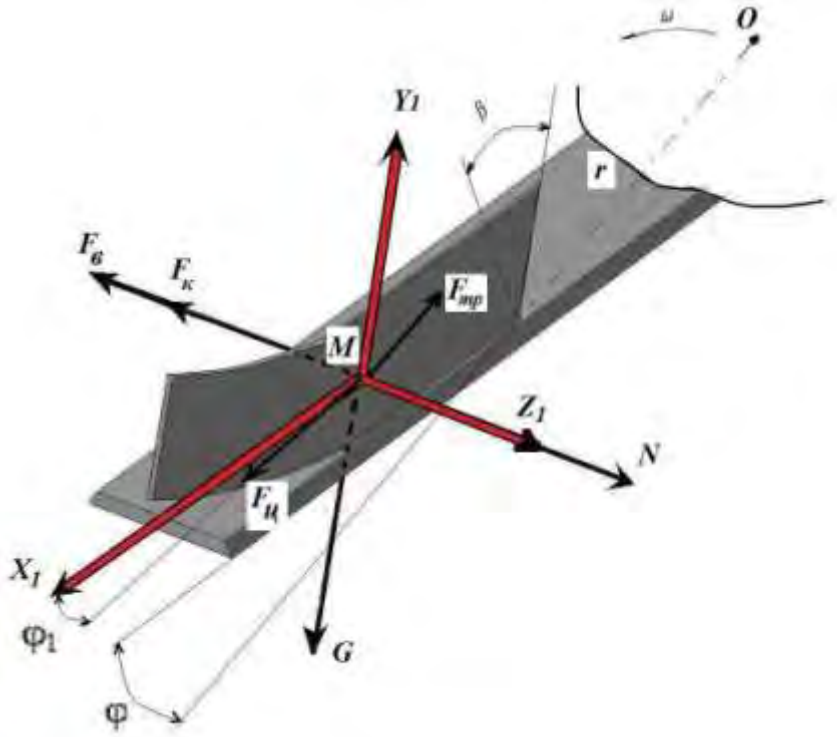


Рисунок 2.7 – Схема сил, действующих на стебель, движущийся по лопасти

Уравнение движения стебля по лопасти в векторной форме имеет вид:

$$m\overline{a} = \overline{F}_ц + \overline{F}_{тр} + \overline{F}_B + \overline{F}_к + \overline{G} + \overline{N}\,, \qquad (2.4)$$

где m – масса стебля, кг;

a – ускорение стебля, м/с^2;

$F_ц$ – центробежная сила инерции, Н:

$$F_ц = m \cdot \omega^2 \cdot \left(r + \frac{x_1 \cdot \cos\varphi}{\cos(\varphi - \varphi_1)} \right), \qquad (2.5)$$

где ω – угловая скорость вращения ножа, с$^{-1}$;

r – радиус установки лопасти, м;

x_1 – перемещение частицы по лопасти вдоль оси x_1, м;

φ_1 – переменный угол между направлением центробежной силы и осью x_1, рад. (угол φ_1 будет изменяться от α_1 до α_2 и отображает кривизну лопасти),

$F_{тр}$ – сила трения стебля об лопасть, Н:

$$F_ц = f \cdot N\,, \qquad (2.6)$$

где f – коэффициент трения;

N – сила реакции опоры, Н;

$Fв$ – ветровая нагрузка, Н:

$$F_в = k \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot S \cdot \omega^2 \cdot (r + x_1 \cdot \cos\varphi)^2\,, \qquad (2.7)$$

где k – коэффициент сопротивления воздуха,

γ – удельный вес воздуха, Н/м^3;

g – ускорение свободного падения, м/с^2;

S – миделево сечение стебля, м^2;

$F_к$ – сила Кориолиса, Н:

$$F_к = 2 \cdot \omega \cdot m \cdot V_{отн}, \tag{2.8}$$

где $V_{отн}$ – относительная скорость движения частицы по лопасти, м/с;

G – сила тяжести, Н.

Рассмотрим движение стебля под действием сил по каждой из осей X_1, Y_1, Z_1. Для этого определим проекции приложенных сил на рассматриваемые оси. Проекции силы тяжести G на оси:

$$G_{x1} = 0,$$

$$G_{y1} = -G \sin \beta, \tag{2.9}$$

$$G_{z1} = -G \cos \beta,$$

Проекции ветровой нагрузки $Fв$:

$$F_{в\,x1} = F_в \sin \varphi,$$

$$F_{в\,y1} = F_в \sin \varphi \cdot \cos \beta, \tag{2.10}$$

$$F_{в\,z1} = -F_в \sin \beta \cdot \cos \varphi,$$

Проекции центробежной силы инерции $F_ц$:

$$F_{ц\,x1} = F_ц \cdot \cos \varphi_1,$$

$$F_{ц\,y1} = F_ц \sin \varphi_1 \cdot \cos \beta, \tag{2.11}$$

$$F_{ц\,z1} = F_ц \sin \beta \cdot \sin \varphi_1,$$

где φ_1 – переменный угол между направлением центробежной силы и осью X_1, рад.

Проекции силы Кориолиса $F_к$:

$$F_{\kappa x1} = 0,$$

$$F_{\kappa y1} = -F_{\kappa} \sin\delta, \qquad (2.12)$$

$$F_{\kappa z1} = -F_{\kappa} \cos\delta,$$

где δ – угол между проекциями относительной скорости на оси V_{x1} и V_{y1} (угол схода стебля с лопасти), рад.

Проекции силы трения $F_{тр}$:

$$F_{трx1} = -F_{тр} \cdot \cos\delta,$$

$$F_{тр\,y1} = -F_{тр} \sin\delta \qquad (2.13)$$

$$F_{тр\,z1} = 0,$$

Проекции силы реакции опоры:

$$N_{x1} = 0,$$

$$N_{y1} = 0, \qquad (2.14)$$

$$N_{z1} = N,$$

С учетом выражений (2.6–2.14) векторное уравнение (2.4) можно представить в виде:

$$ma_{x1} = F_{в} \sin\varphi + F_{ц} \cdot \cos\varphi_1 - F_{тр} \cdot \cos\delta$$

$$ma_{y1} = -G\sin\beta + F_{в} \sin\varphi \cdot \cos\beta + F_{ц} \sin\varphi_1 \cdot \cos\beta - F_{\kappa} \sin\delta - F_{тр} \sin\delta$$

$$ma_{z1} = -G\cos\beta - F_{в} \sin\beta \cdot \cos\varphi + F_{ц} \sin\beta \cdot \sin\varphi_1 - F_{\kappa} \cos\delta + N$$

Учитывая, что $k_n = k\gamma \cdot S / mg$ – коэффициент парусности [123], относительная скорость движения стебля по лопасти:

$$V_{отн} = \sqrt{V_{z1}^2 + V_{y1}^2}, \qquad (2.15)$$

$\cos\delta = \frac{V_{x1}}{\sqrt{V_{x1}^2 + V_{y1}^2}}$ и $\sin\delta = \frac{V_{y1}}{\sqrt{V_{x1}^2 + V_{y1}^2}}$, после ряда преобразований получим систему дифференциальных уравнений движения стебля по лопасти в координатах X_1, $У_1$:

$$\begin{cases} x_1'' = k_n \cdot \omega^2 \cdot \left(r + x_1 \cos(\varphi)\right)^2 \cdot \left(\sin(\varphi) - f \cdot \cos(\varphi) \cdot \sin(\beta) \cdot \frac{x_1'}{\sqrt{(x_1')^2 + (y_1')^2}}\right) + \\ + \omega^2 \cdot \left(r + \frac{x_1 \cos(\varphi)}{\cos(\varphi - \varphi_1)}\right) \cdot \left(\cos(\varphi_1) + f \sin(\varphi_1) \cdot \sin(\beta) \cdot \frac{x_1'}{\sqrt{(x_1')^2 + (y_1')^2}}\right) - \\ - f \cdot g \cdot \cos(\beta) \cdot \frac{x_1'}{\sqrt{(x_1')^2 + (y_1')^2}} - 2 \cdot f \cdot \omega \cdot \frac{x_1'}{\sqrt{(x_1')^2 + (y_1')^2}}; \\ y_1'' = k_n \cdot \omega^2 \cdot \left(r + x_1 \cos(\varphi)\right)^2 \cdot \left(\sin(\varphi) \cdot \cos(\beta) - f \sin(\varphi_1) \cdot \sin(\beta) \cdot \frac{y_1'}{\sqrt{(x_1')^2 + (y_1')^2}}\right) + \\ + \omega^2 \cdot \left(r + \frac{x_1 \cos(\varphi)}{\cos(\varphi - \varphi_1)}\right) \cdot \sin(\varphi_1) \cdot \left(\cos(\beta) + f \cdot \sin(\beta) \cdot \frac{y_1'}{\sqrt{(x_1')^2 + (y_1')^2}}\right) - \\ - g \cdot \left(\sin(\beta) + f \cdot \cos(\beta) \cdot \frac{y_1'}{\sqrt{(x_1')^2 + (y_1')^2}}\right) - 2 \cdot \omega \cdot y' \left(1 + f \cdot \cos(\varphi)\right); \end{cases} \quad (2.16)$$

Было проведено численное моделирование параметров процесса движения срезанного стебля по лопасти с помощью программного обеспечения Mathcad. Решение уравнений (2.16) методом Рунге-Кутты с переменным шагом позволило получить зависимости изменения кинематических параметров стебля, движущегося по лопасти от конструктивных параметров лопасти.

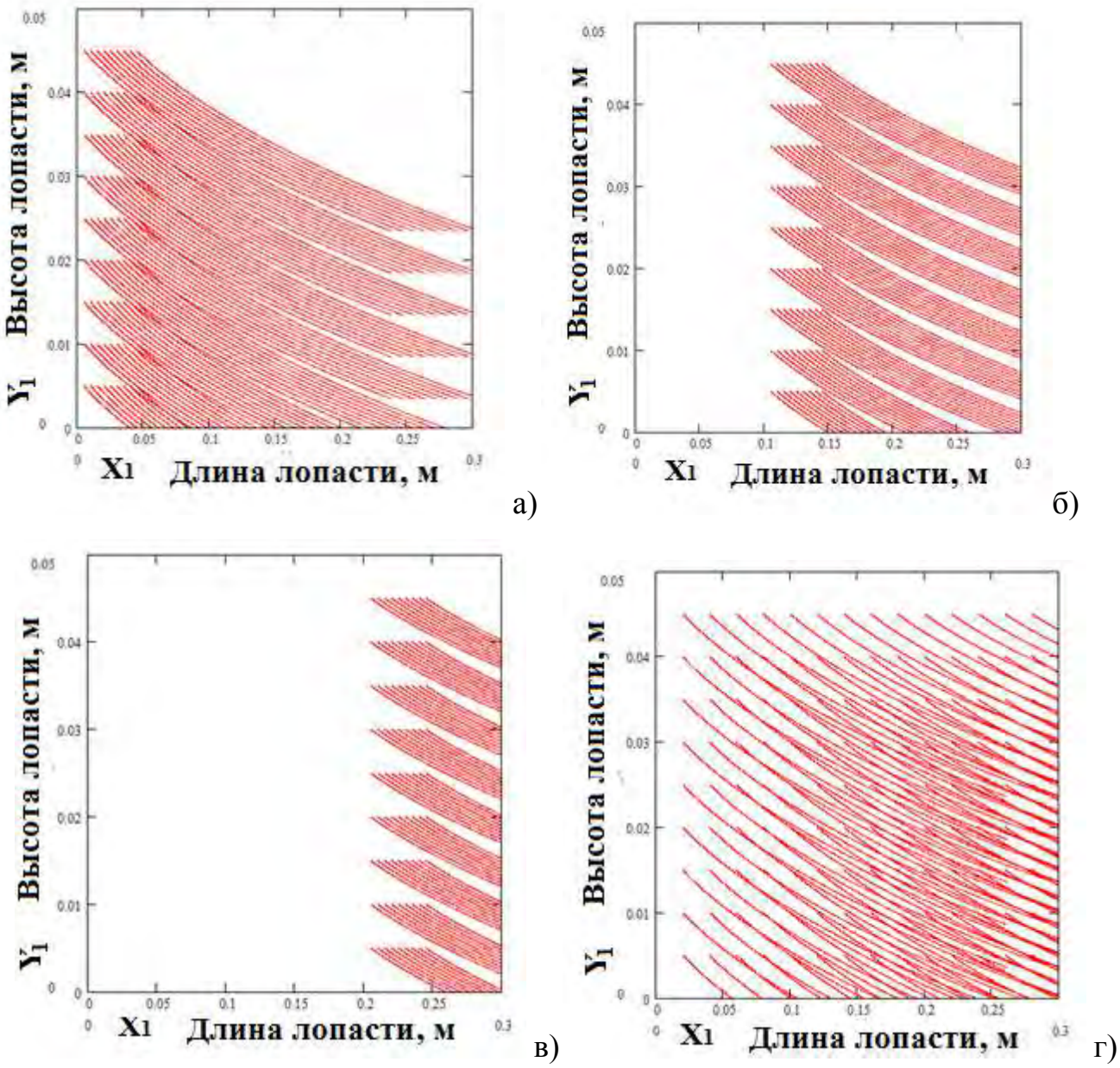


Рисунок 2.8 – Траектория движения частиц по лопасти при различных точках начала движения: а) в начале лопасти, б) в середине лопасти, в) в конце лопасти, г) обобщенный массив движения частиц по лопасти

2.5 Численное моделирование движения частицы по лопасти

Численное моделирование проводилось для вышеопределенных трех видов лопастей (рисунок 2.5, а, б, в): нож с прямолинейной радиальной лопастью; с прямолинейной лопастью, отогнутой назад; нож с криволинейной лопастью, отогнутой назад.

При решении задачи для ножа с прямолинейной радиальной лопастью (рисунок 2.5. а) переменный угол φ_1 между направлением центробежной силы и осью x_1 равнялся нулю. В результате получили следующие зависимости, представленные на рисунке 2.9.

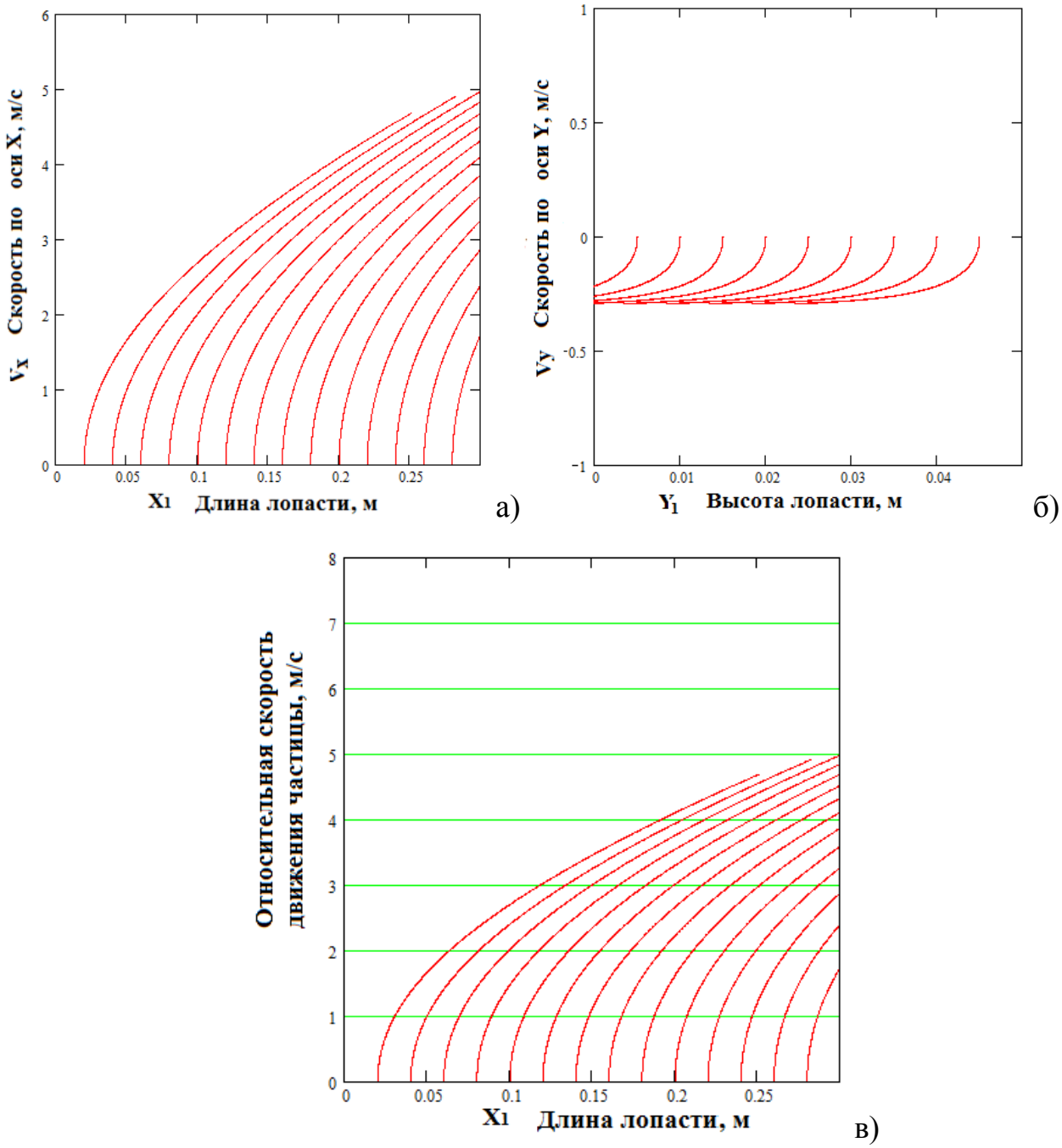


Рисунок 2.9 – Скорость движения скошенных стеблей по прямолинейной радиальной лопасти: а) относительно оси X_1 от длины лопасти, б) относительно оси $У_1$ от высоты лопасти; в) зависимость изменения относительной скорости движения частицы по лопасти

Для решения задачи с ножом, снабженным прямолинейной лопастью, отогнутой назад (рисунок 2.5, б), используем выражение (2.1), показывающее связь между углами установки α_1 и α_2 :

$$\frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2} = \frac{D_2}{D_1},$$

где D_2 – внешний диаметр лопастного колеса, которому соответствует крайняя точка лопасти, $D_2 = D_1+2x$, x - координата положение стебля на лопасти по оси X_1 (рисунок 2.7), D_2=1,2 м;

D_1 – внутренний диаметр лопастного колеса (диаметр начала установки лопасти $D_1 = 2r = 0{,}6$ м).

В данном случае переменный угол φ_1 между направлением центробежной силы и осью X_1 будет изменяться в пределах от α_1 до α_2.

Для определения изменения угла φ_1 по длине лопасти используем зависимость:

$$\phi_1 = a\sin\left(\frac{D_1}{(D_1+2x)\cdot\sin(\alpha_1)}\right), \tag{2.17}$$

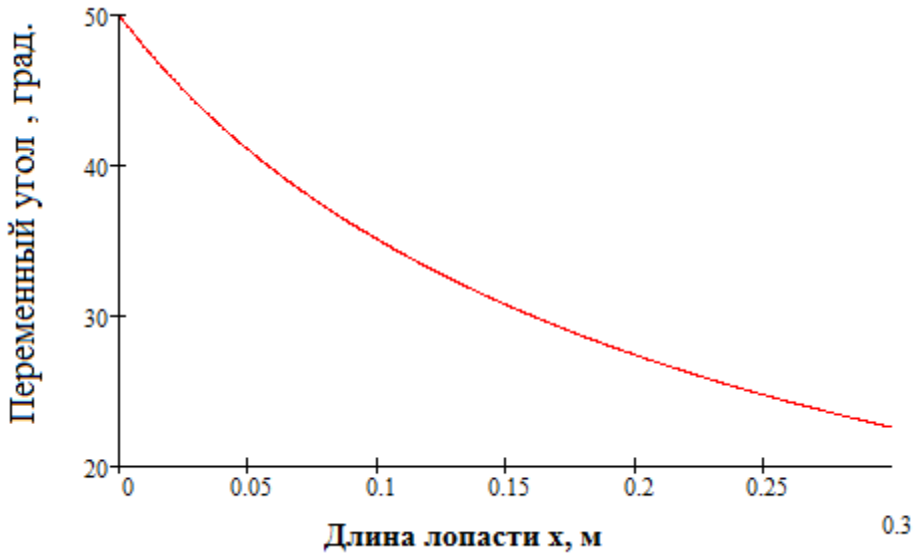


Рисунок 2.10 – Изменение угла φ_1 по длине лопасти

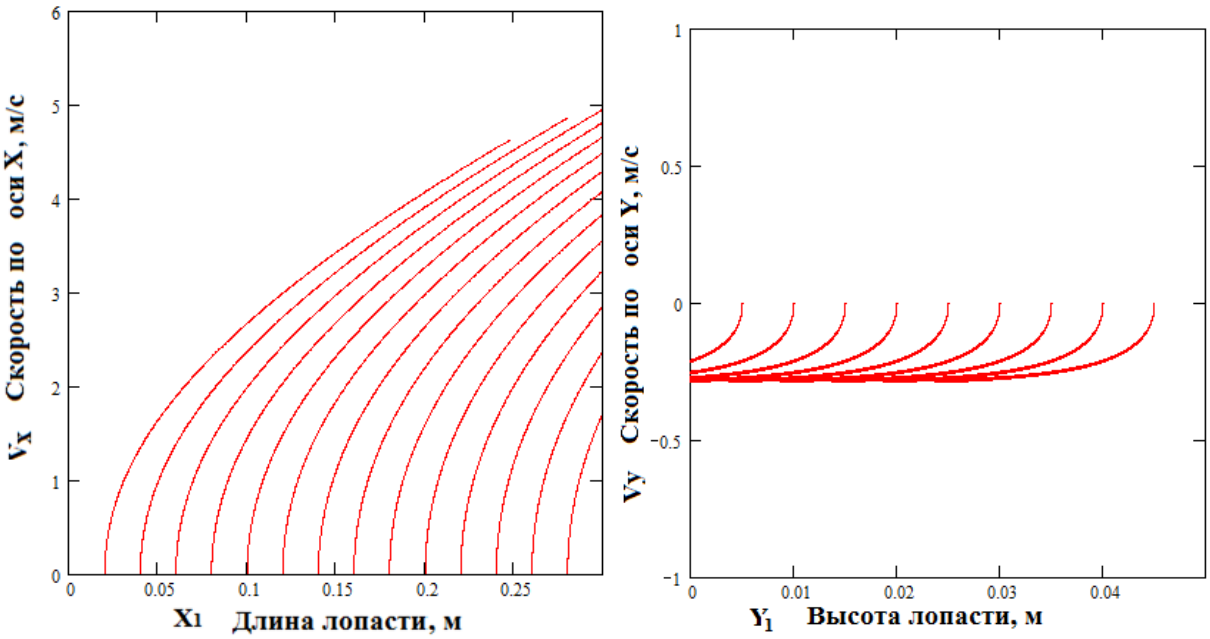
Зависимость перемещения частицы по лопасти вдоль оси X_1 от времени определяется из решения системы (2.16) и будет иметь вид:

$$x = 10.7\tan\left(\frac{t^{1.8}}{0.8}\right), \tag{2.18}$$

Подставляя значение перемещения частицы по лопасти вдоль оси X_1 (2.18) в выражение (2.17) получим зависимость изменения угла φ_1 от времени t:

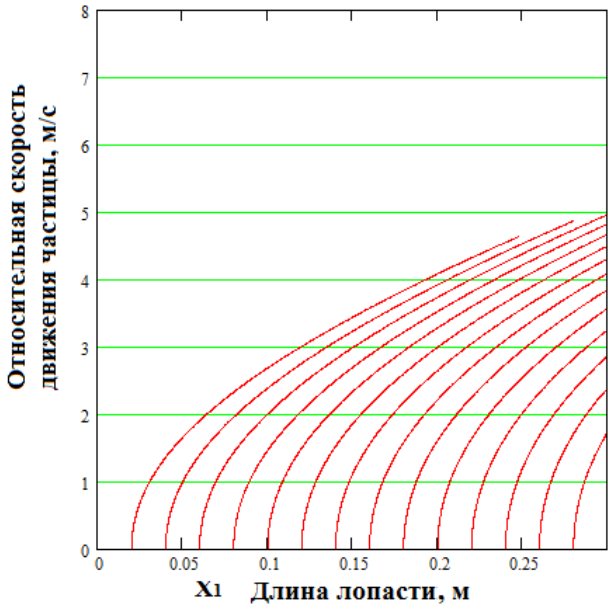
$$\phi_1 = a\sin\left(\frac{D_1}{(D_1 + 2\left(10.7\tan\left(\frac{t^{1.8}}{0.8}\right)\right))\cdot\sin(\alpha_1)}\right), \tag{2.19}$$

С учетом полученного выражения моделируем различные случаи в зависимости от начального угла установки лопасти α_1 (рисунок 2.11).

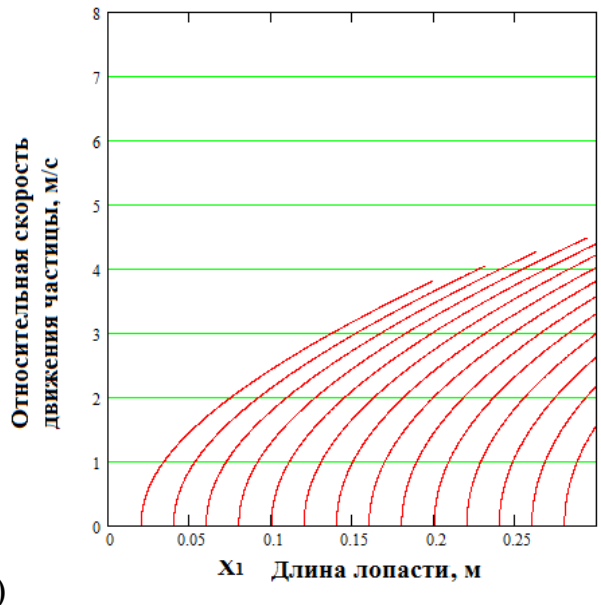


а) б)

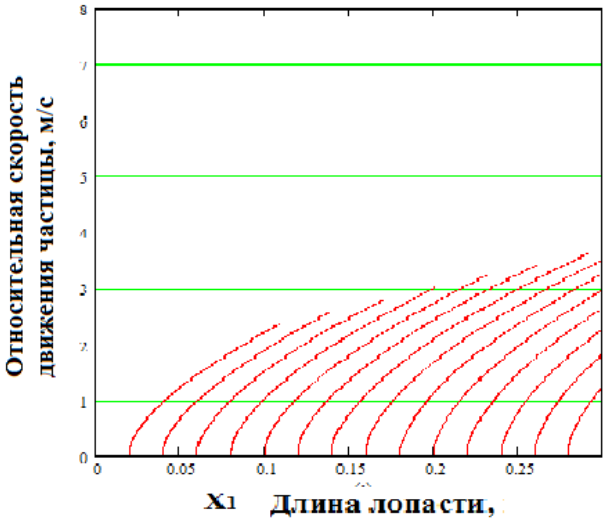
Рисунок 2.11 –.Скорость движения скошенных стеблей по прямолинейной отклоненной назад лопасти при α_1=5˚: а) вдоль горизонтальной оси от длины лопасти, б) вдоль вертикальной оси от высоты лопасти



а)



б)



в)

Рисунок 2.12 – Скорость движения скошенных стеблей по прямолинейной отклоненной назад лопасти: а) при α_1=30˚, б) при α_1=20˚, в) при α_1=5˚

Как было установлено выше, профилем криволинейных лопастей служит дуга окружности радиусом R. Радиус кривизны лопастей и радиус R_0 окружности центров лопастей (рисунок 2.6) определяются по формулам (2.2) и (2.3). Переменный угол φ_1 между направлением центробежной силы и осью X_1 также будет изменяться в пределах от α_1 до α_2. Для определения зависимости изменения угла φ_1 по времени найдем значение радиуса окружности лопасти *R* из формулы (2.3):

$$R_0 = \sqrt{\frac{D_2^2}{4} + R^2 - D_2 R sin\alpha_2},$$

$$R^2 - R \cdot D_2^2 \cdot \sin\alpha_2 + \frac{D_2^2}{4} - R_0^2 = 0,$$

$$R = \frac{D_2 \cdot \sin\alpha_2 + \sqrt{D_2^2 \cdot \sin\alpha_2 - D_2^2 + 4R_0^2}}{2}, \tag{2.20}$$

Подставив полученное значение радиуса кривизны лопасти R в формулу (2.2), найдем зависимость изменения угла α_1 от α_2:

$$R = \frac{D_2^2 - D_1^2}{4(D_2 sin\alpha_2 - D_1 sin\alpha_1)},$$

$$\frac{D_2 \cdot \sin\alpha_2 + \sqrt{D_2^2 \cdot \sin\alpha_2 - D_2^2 + 4R_0^2}}{2} = \frac{D_2^2 - D_1^2}{4(D_2 \cdot \sin\alpha_2 - D_1 \cdot \sin\alpha_1)}, \tag{2.21}$$

$$\alpha_1 = a\sin\left[\frac{\dfrac{D_1^2 - D_2^2}{4\left(\dfrac{D_2 \cdot \sin\alpha_2 + \sqrt{D_2^2 \cdot \sin\alpha_2 - D_2^2 + 4R_0^2}}{2}\right)} + D_2 \cdot \sin\alpha_2}{D_1}\right], \tag{2.22}$$

Для каждого момента времени перемещения стебля по лопасти будет справедливо выражение (2.22), если выразить: $D_2 = D_1 + 2x$, где x - координата положение стебля на лопасти по оси X_1 (рисунок 2.5). Зная зависимость перемещения частицы по лопасти вдоль оси X_1 от времени (2.18), получим зависимость изменения угла φ_1 (в пределах от α_1 до α_2) по времени:

$$\alpha_1 = a\sin\left[\frac{D_1^2-\left(D_1+2\left(10.7\tan\left(\frac{t^{1.8}}{0.8}\right)\right)\right)^2}{4D_1\left(\frac{\left(D_1+2\left(10.7\tan\left(\frac{t^{1.8}}{0.8}\right)\right)\right)\cdot\sin\alpha_2+\sqrt{\left(D_1+2\left(10.7\tan\left(\frac{t}{0.8}\right)\right)\right)^2\cdot\sin\alpha_2}}{2}\right)}\cdot\frac{}{4D_1\left(\frac{-\left(D_1+2\left(10.7\tan\left(\frac{t}{0.8}\right)\right)\right)^2+4R_0^2}{2}\right)}+\frac{D_2}{D_1}\cdot\sin\alpha_2\right], \quad (2.23)$$

С учетом полученного выражения, моделируем различные случаи движения частицы по лопасти в зависимости от начального угла установки лопасти α_1. Увеличивая угол входа α_1, изменяем форму лопасти, что дает возможность проследить траекторию движения частицы, изменение скорости по осям и абсолютной скорости движения во время схода с лопасти (рисунок 2.14, 2.15).

На (рисунке 2.13) представлено графически изменение угла φ_1. Угол φ_1 будет меняться от α_1 до α_2,.

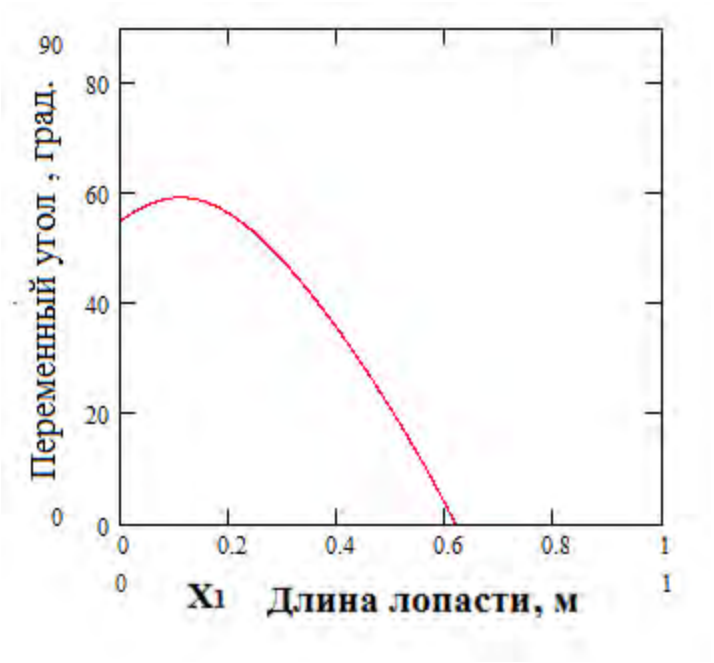
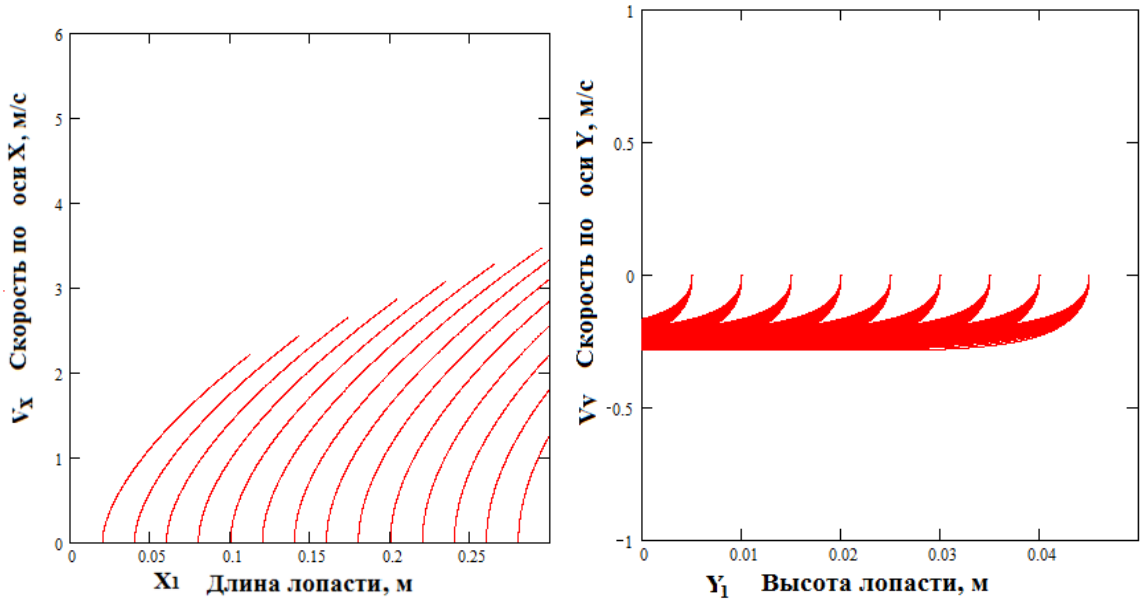


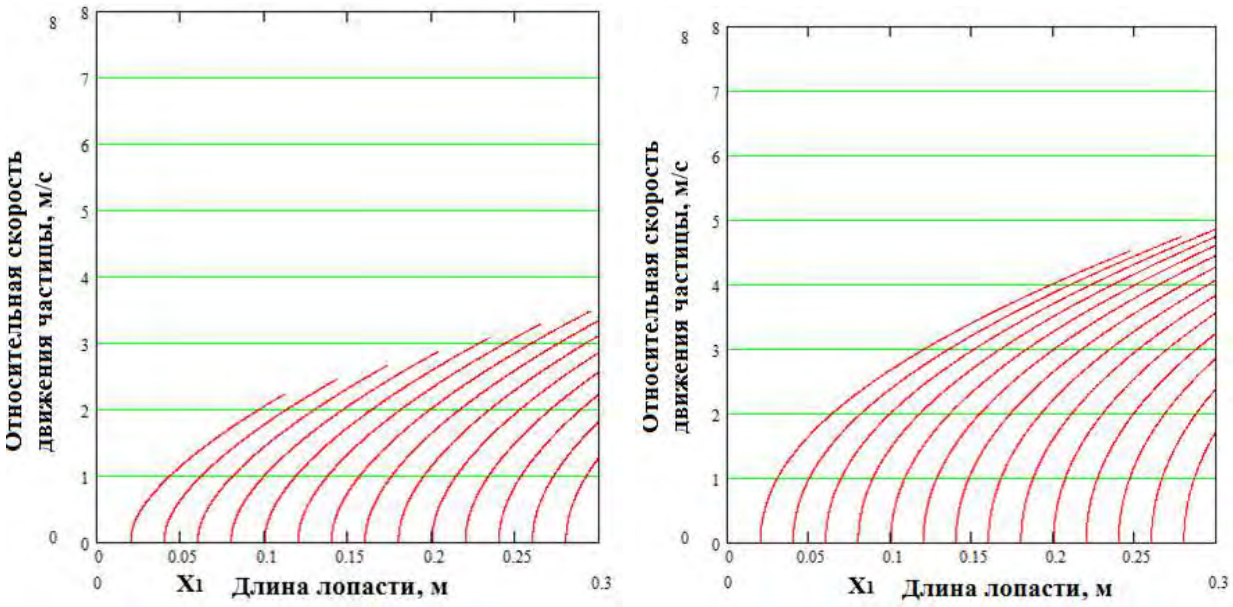
Рисунок 2.13 – Изменение угла φ_1 по длине лопасти (для криволинейной формы) при начальном угле α_1=55˚



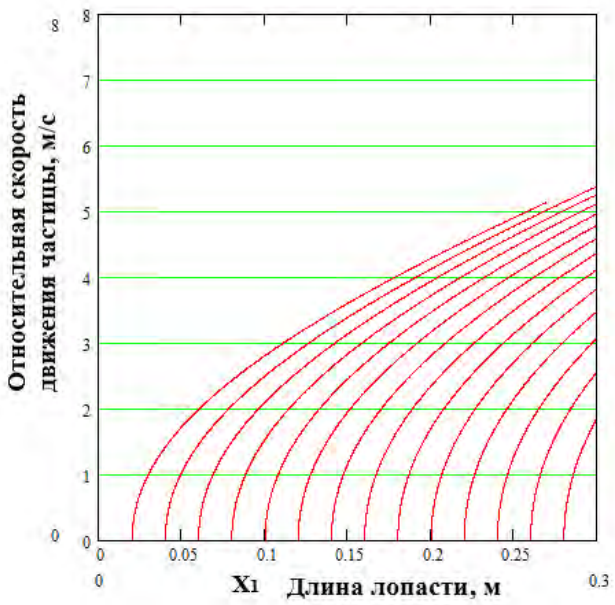
а) б)

Рисунок 2.14 – Зависимость изменения скорости движения скошенных стеблей по криволинейной лопасти при α_1=75˚

а) вдоль горизонтальной оси от дли длины лопасти, б) вдоль вертикальной оси от высоты лопасти



а) б)



в)

Рисунок 2.15 – Зависимость изменения относительной скорости движения скошенных стеблей по криволинейной лопасти а) при α_1=5˚, б) при α_1=25˚, в) при α_1=45˚

Как видно из анализа графиков (рисунок 2.9, рисунок 2.12, рисунок 2.15), наибольшая скорость движения стебля по лопасти достигается при криволинейной, отклоненной назад форме лопасти. Значение начального угла кривизны α_1 оказывает непосредственное влияние на скорость движения стебля по лопасти. Скорость движения частицы по лопасти увеличивается с увеличением начального угла кривизны лопасти α_1.

2.6 Исследование характера течения воздуха внутри кожуха косилки

Для выяснения характера течения воздуха в проточной части косилки, профиля скорости воздуха в ее выходном сечении и оценки величины скорости в выходном сечении была разработана 3D-расчетная конечно-элементная модель косилки.

Схема модели представлена на рисунке 2.16. Наружный диаметр цилиндра модели – 1200 мм, высота – 150 мм; размеры выходного сечения – 600х150 мм.

Вращающийся ротор модели представляет собой цилиндр с 4-мя лопастями шириной 10 мм, высотой 150 мм и длиной 570 мм. По всей длине лопасти оснащены горизонтальным ножами шириной 60 мм и высотой 10 мм.

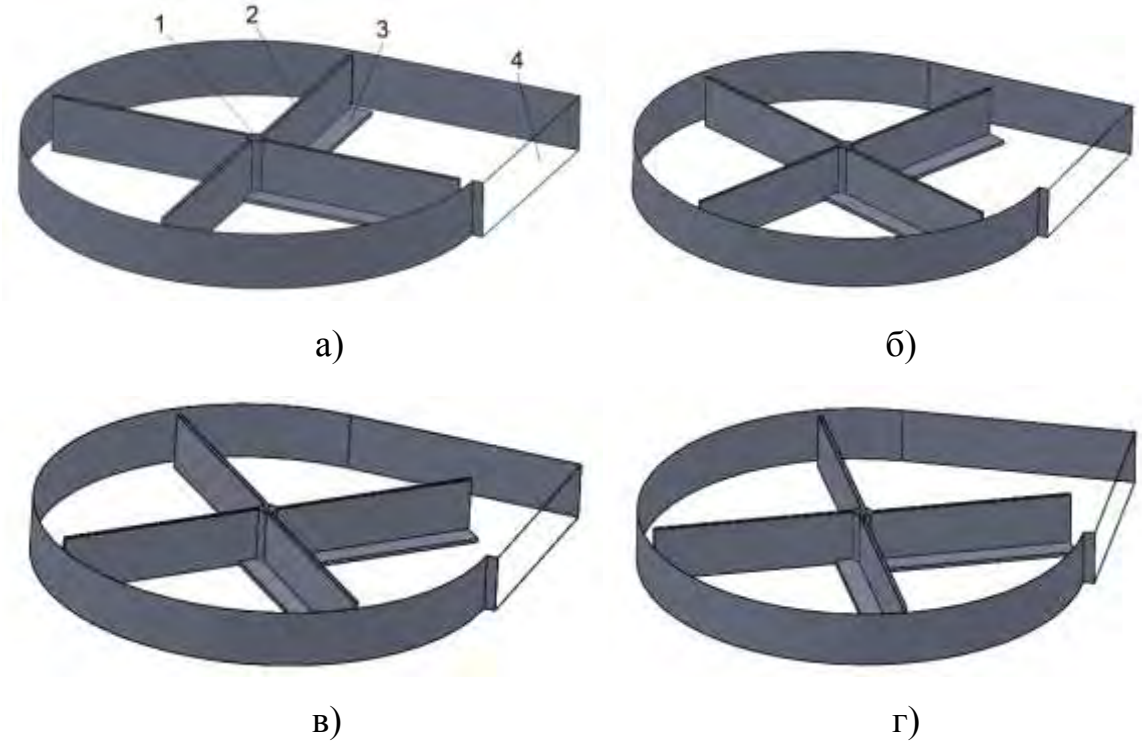


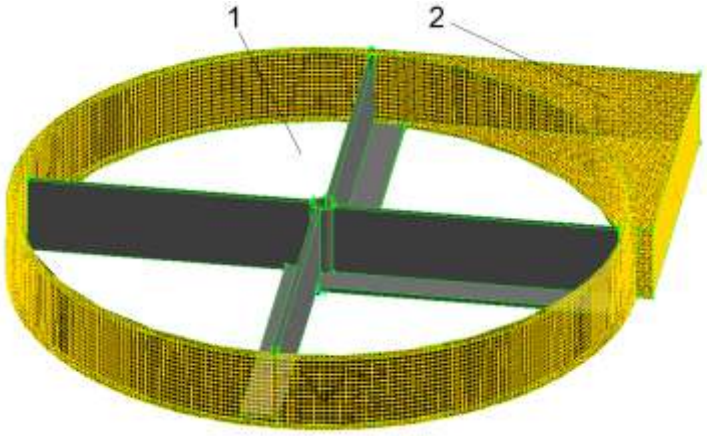
Рисунок 2.16 – Схема модели косилки

1 – ось вращения; 2 – лопасть; 3 – нож; 4 – сечение выхода

а) лопасть параллельна сечению выхода; б) лопасть под углом 22,5º к сечению выхода; в) лопасть под углом 45º к сечению выхода; г) лопасть под углом 67,5º к сечению выхода

Для модели создана сетка конечных элементов, содержащая две зоны (объема): зону вращения, содержащую ротор, и неподвижную зону или статор, представляющую объем корпуса косилки (рисунок 2.17).

Конечные элементы – тетраэдры и треугольные призмы со стороной 10 мм. Зона 1 содержит 32618 узлов и 135863 элемента, зона 2 содержит 108748 узлов и 532668 элементов.



1 – зона вращения; 2 – неподвижная зона

Рисунок 2.17 – Конечно-элементное представление модели (сетка конечных элементов показана только для неподвижной зоны)

Расчетный анализ модели выполнен в CFD-программе Fluent с использованием неявной схемы решателя (программы численного метода решения систем уравнений) для физических свойств воздуха без учета сил гравитации [144]. Использована k-ε модель турбулентности.

Границами расчетной области являются:

- поверхность входа воздуха – нижняя плоскость зоны вращения;
- поверхность выхода воздуха – сечение выхода неподвижной зоны;
- поверхности ротора (вращаются вместе с зоной вращения);
- поверхности корпуса.

Граничные условия решения задачи:

- давления в сечениях входа и выхода равны атмосферному;
- частота вращения зоны вращения и поверхностей ротора – 83 рад/с.

Для решения задачи, в которой сопряжены вращающаяся и неподвижная области, использована модель Multiple Reference Frame, которая позволяет получить решение для вращающегося ротора в заданный момент его положения в пространстве [8]. Поэтому решение выполнено для 4-х положений лопасти по отношению к сечению выхода (рисунок 2.16). Эти положения перекрывают диапазон возможных изменений состояния поля скоростей в сечении выхода и

позволяют получить осредненные оценки как профилей, так и величин скорости в этом сечении.

Результаты расчета модели показывают, что течение в межлопастном пространстве характеризуется циркуляционными потоками: зона разрежения за стенкой лопасти формирует восходящий поток воздуха, скорость которого на периферии лопасти достигает 50–80 м/с; зона повышенного давления перед лопастью и над ножом создает нисходящий поток воздуха со скоростями, достигающими 30–50 м/с. На рисунке 2.18 приведены поля статических давлений в поперечном сечении межлопастного пространства для всех расчетных положений ротора. Значения массового расхода воздуха и скоростей через сечения входа и выхода кожуха косилки приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Расход и скорость воздуха в сечении выхода

Положение ротора	Расход, кг/с	Сечение входа	Сечение выхода		
		Средняя скорость, м/с*	Средняя скорость, м/с	Макс. скорость, м/с	% площади со скоростью > 40 м/с
а	1,072	0,74	8,06	45	1,02
б	1,533	1,06	13,7	49,5	10
в	1,965	1,36	18,2	50	9,4
г	1,842	1,27	16,5	49,1	13,3

*При расчете принята площадь проходного сечения – 1,13 м^2, плотность воздуха – 1,29 кг/м^3.

Как следует из рисунка 2.18 наименьшее статическое давление в зоне выхода из кожуха косилки соответствует положению (рисунок 2.16, а), этому же положению соответствует и наименьшее значение массового расхода воздуха через сечение выхода. Максимальное статическое давление в зоне выхода и расход воздуха через косилку соответствует положению (рисунок 2.16, в).

Максимальная скорость истечения воздуха колеблется в пределах 45–50 м/с в зоне периферийной части лопасти, что практически соответствует окружной скорости ее вращения. Зона высокой (более 40 м/с) скорости истечения составляет от 9,4 до 13,3 % площади выходного сечения, что составляет 8460–11970 мм^2. Эквивалентный радиус такой зоны равен 51,9–61,7 мм.

На рисунке 2.19 приведены векторные поля скоростей в сечении выхода. Во всех положениях ротора направление истечения потока воздуха практически перпендикулярно плоскости выходного сечения. Рисунок 2.19 демонстрирует перемещение волны максимальной скорости при изменении угла положения лопасти, то есть зона высокой скорости истечения «следит» за движением лопасти.

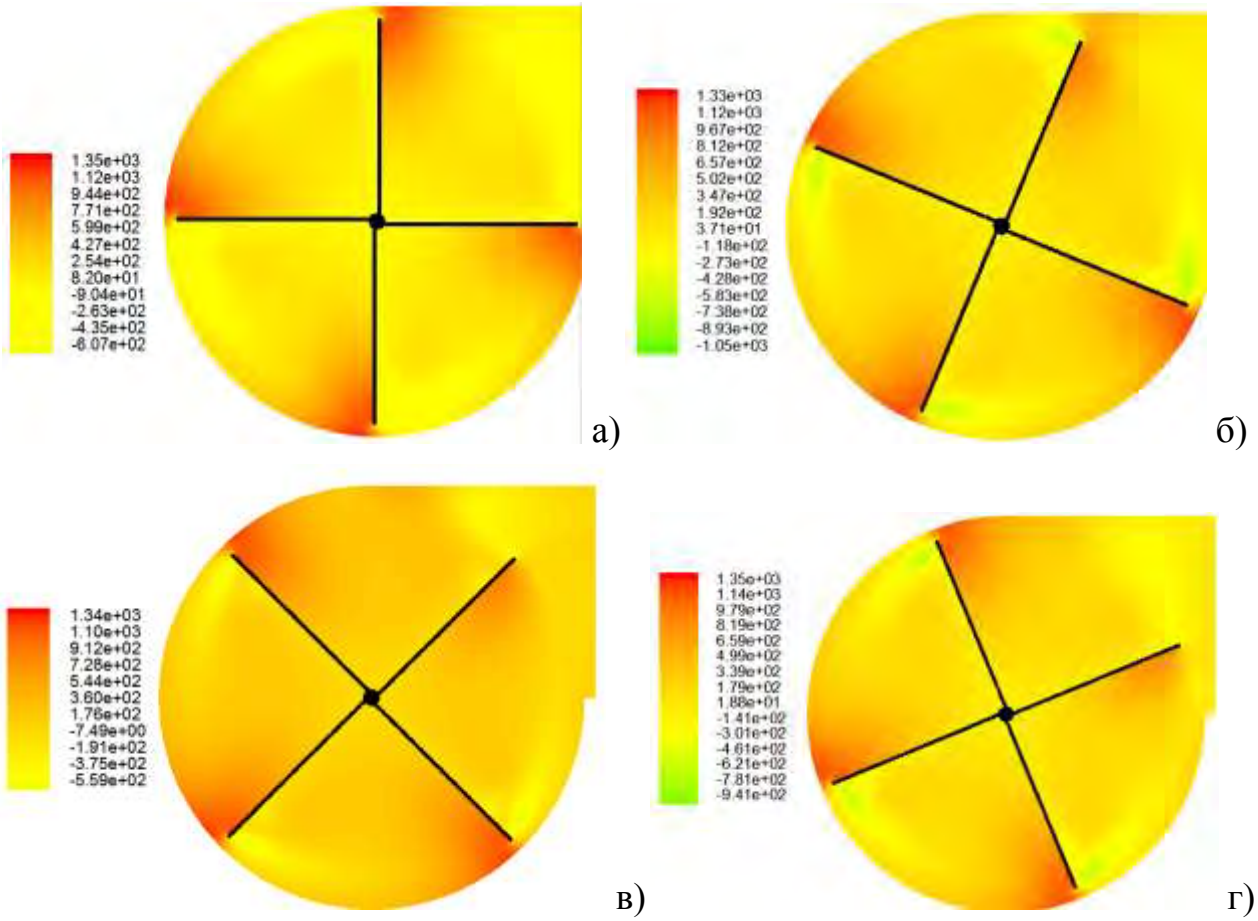
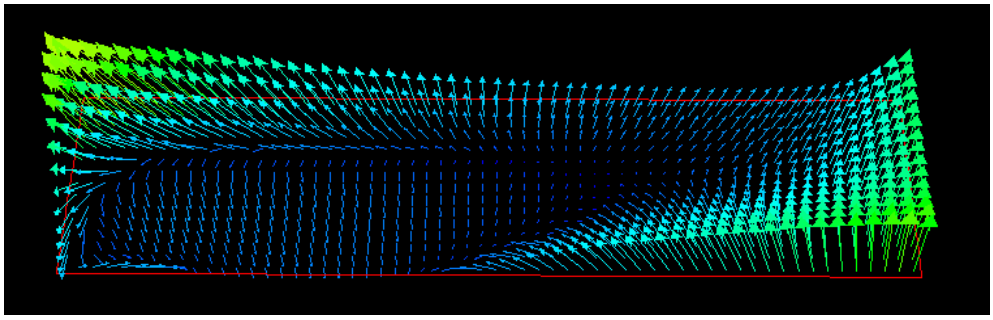
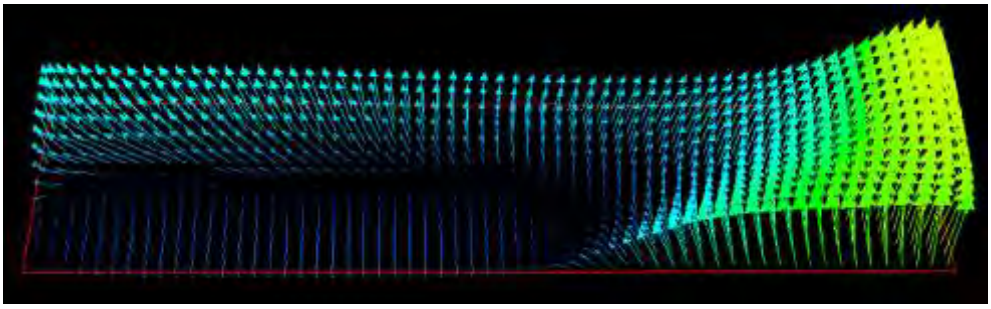


Рисунок 2.18 – Поле статических давлений в поперечном сечении межлопастного пространства: а) лопасть параллельна сечению выхода; б) лопасть под углом 22,5° к сечению выхода; в) лопасть под углом 45° к сечению выхода; г) лопасть под углом 67,5° к сечению выхода

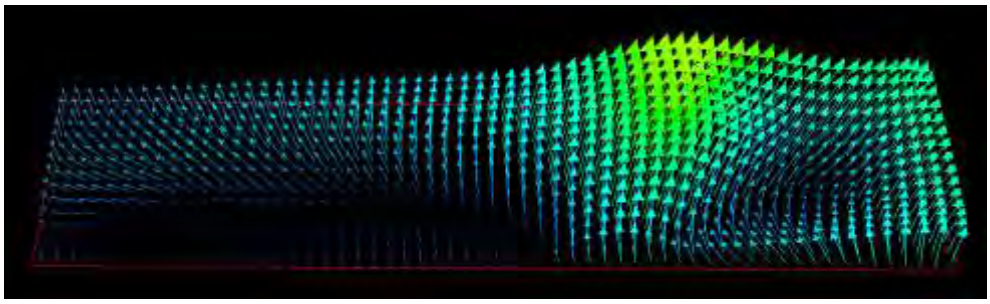
На рисунках 2.20–2.23 представлены – векторные поля скоростей в поперечных и вертикальных сечениях расчетной области, иллюстрирующие области восходящих и нисходящих потоков воздуха в межлопастных пространствах. Из анализа (рисунок 2.20 - 2.23, приложение 3) видно, что восходящие потоки приводят к поднятию и втягиванию стеблей скашиваемой травы в проточную часть косилки сразу за вращающейся лопастью, а нисходящие потоки прижимают стебли к поверхности набегающего на них ножа, что способствует равномерному срезу стеблей, повышая качество скашивания.



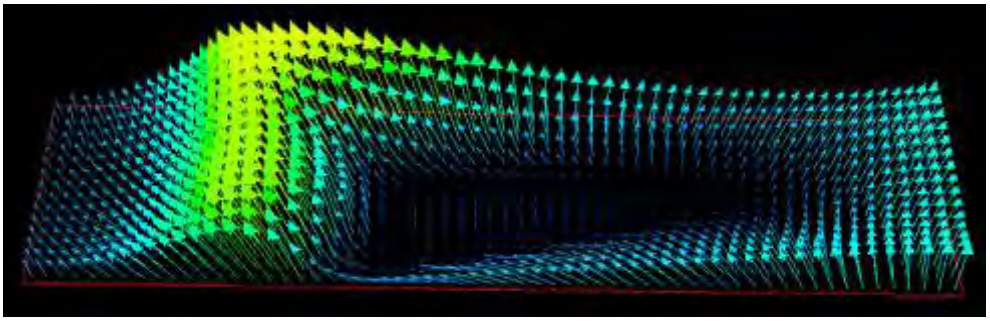
а)



б)

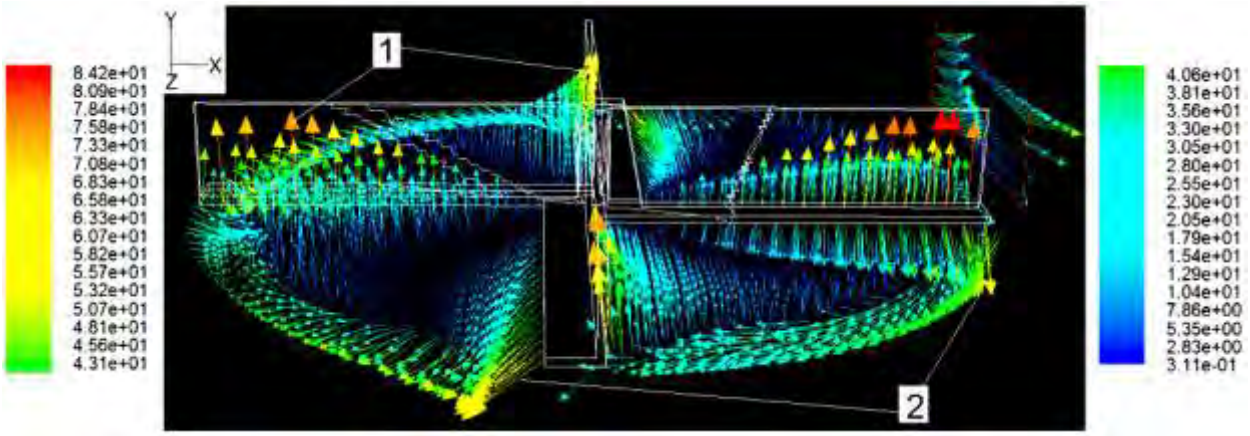


в)



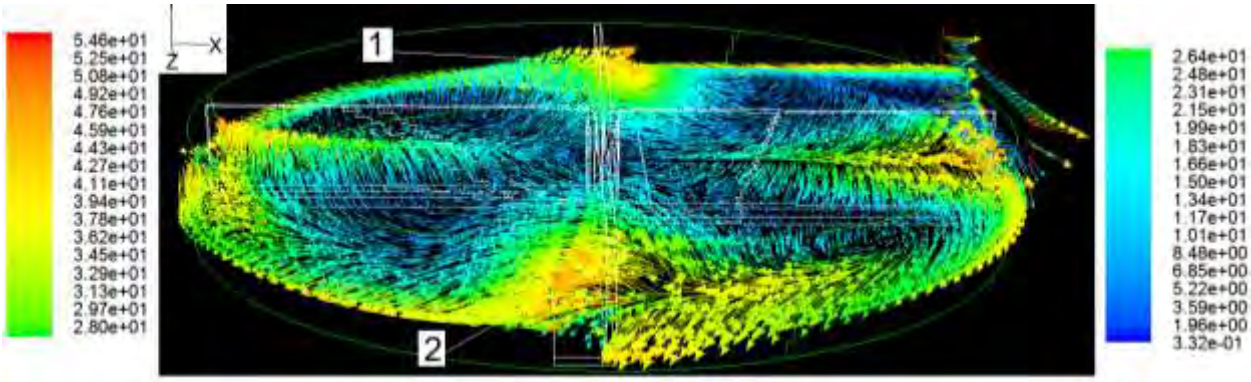
г)

Рисунок 2.19 – Картина векторного поля скорости в сечении выхода



1 – области восходящих потоков; 2 – области нисходящих потоков

Рисунок 2.20 – Картина векторного поля скорости в сечении входа (y = 0 мм)



1 – области восходящих потоков; 2 – области нисходящих потоков

Рисунок 2.21 – Картина векторного поля скорости в серединном сечении (y = 75 мм)

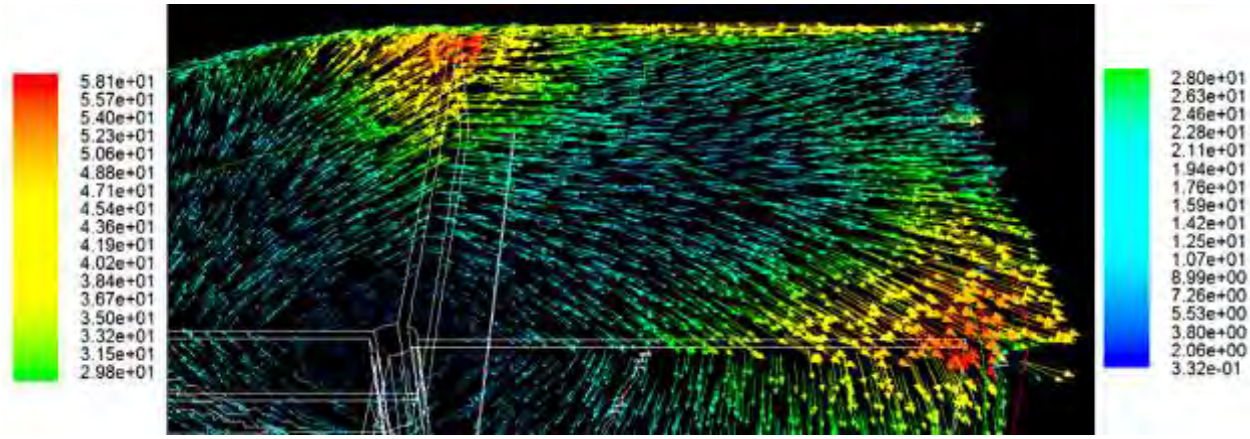
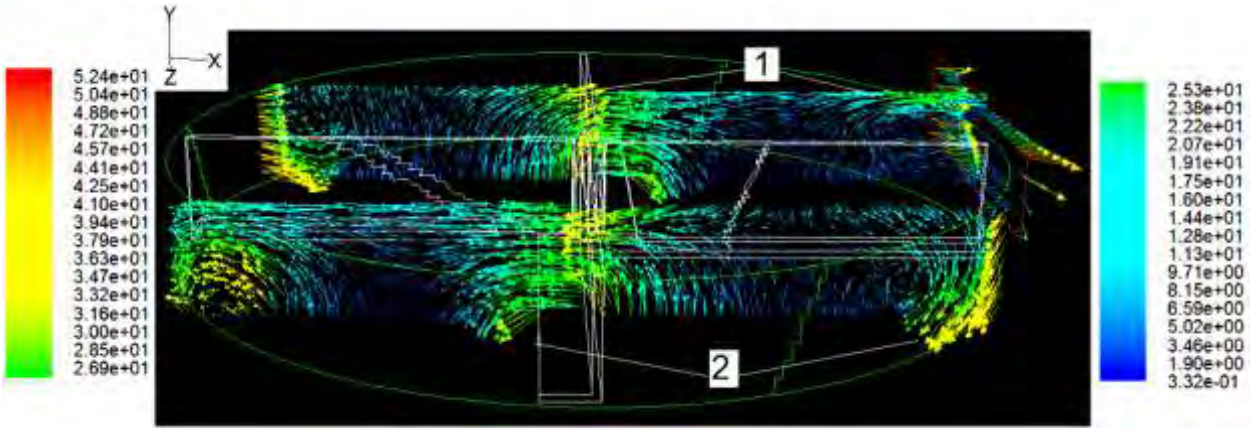


Рисунок 2.22 – Картина векторного поля скорости в сечении у поверхности (y = 149 мм)



1 – области восходящих потоков; 2 – области нисходящих потоков

Рисунок 2.23 – Картина векторного поля скорости в вертикальных сечениях на расстоянии 300 мм от оси вращения

В результате выполненного численного анализа течения воздуха в проточной части косилки можно сделать следующие выводы.

1. Характер течения воздуха в межлопастном пространстве способствует улучшению качества скашивания травы: восходящие потоки воздуха за вращающейся лопастью поднимают полегшую траву и втягивают ее стебли в проточную часть косилки, а нисходящие потоки перед лопастью прижимают стебли к поверхности набегающего на них ножа.

2. Средняя скорость истечения воздуха из выходного сечения расчетной модели косилки достигает 16,8 м/с, максимальная – колеблется в пределах 45–50 м/с Высокая скорость истечения воздуха из косилки в окрестности положения лопасти должна приводить к существенному увеличению расстояния выброса скошенной травы из косилки.

Количественную оценку увеличения расстояния выброса травы выполним ниже.

2.7 Исследование движения частицы после выхода из кожуха косилки

Абсолютная скорость частицы, вылетающей из кожуха косилки, будет суммироваться из двух составляющих. Первая – это скорость, приобретенная за

счет центробежного ускорения при движении по лопасти, вторая – скорость воздушного потока, возникающего внутри кожуха при вращении ротора.

Вылетая из кожуха косилки, частица скошенного измельченного стебля будет некоторое время двигаться в потоке воздушно-травяной смеси до момента, когда воздушный поток рассеется. Тогда частица будет двигаться как тело в среде с сопротивлением с некоторой начальной скоростью (рисунок 2.24).

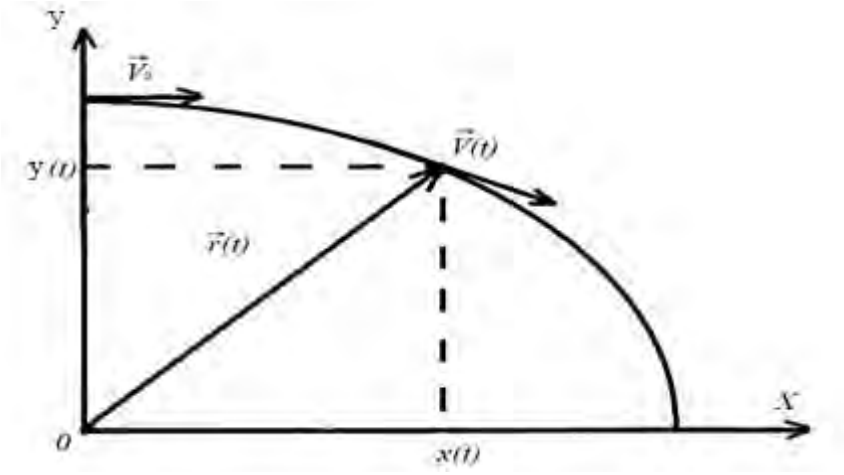


Рисунок 2.24 – Расчетная схема движения частицы

Начальной скорости вылета V_0 будет соответствовать относительная скорость $V_{отн}$ (2.15), приобретенная после схода частицы с лопасти.

Уравнение движения частицы после вылета из выходного отверстия косилки в векторном виде будет иметь вид:

$$m\overline{a} = \overline{F}_{сопр} + \overline{F}_{ВП} + \overline{G}\ , \tag{2.24}$$

$\overline{F}_{сопр}$ – сила сопротивления среды, Н:

$$F_{сопр} = k \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot S \cdot V_0^2\ , \tag{2.25}$$

где k – коэффициент сопротивления воздуха,

γ – удельный вес воздуха, Н/м^3;

g – ускорение свободного падения, м/с^2;

S – миделево сечение стебля, м^2;

V_0 – начальная скорость вылета частицы, м/с.

$\overline{F}_{ВП}$ – сила создаваемая воздушным потоком, Н:

$$F_{ВП} = k \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot S \cdot V_{ВП}^2, \tag{2.26}$$

где $V_{ВП}$ – скорость воздушного потока, образованного ротором косилки, м/с;

$\overline{G}$ – сила тяжести.

Представим уравнение 2.24 в дифференциальном виде с учетом выражений 2.25 и 2.26, разложив его по осям (ось x – горизонтальная и ось y – вертикальная):

$$mx'' = k \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot S \cdot V_{ВП}^2 - k \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot S \cdot (x')^2, \tag{2.27}$$

$$my'' = -mg + k \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot S \cdot (y')^2, \tag{2.28}$$

Представим уравнение движения частицы по осям 2.25 и 2.26 в виде:

$$x'' - k_n V_{ВП}^2 + k_n (x')^2 = 0,$$

$$y'' + g - k_n (y')^2 = 0, \tag{2.29}$$

где $k_n = k\gamma \cdot S / mg$ – коэффициент парусности.

Скорость воздушного потока ($V_{ВП}$) не будет постоянной, т.к. после вылета из кожуха косилки воздушный поток, создаваемый ротором, будет являться свободной и затопленной струёй.

Струя является свободной и затопленной, если она не ограничена твердыми стенками и распространяется в пространстве, заполненном средой, с теми же физическими свойствами, что и вещество струи [1].

Структура свободной затопленной струи показана на рисунке 2.25. На выходе из сопла радиусом (R_0) струя имеет равномерную скорость. Соприкасаясь с неподвижной средой, наружные частицы струи отдают ей часть энергии и замедляют свое движение.

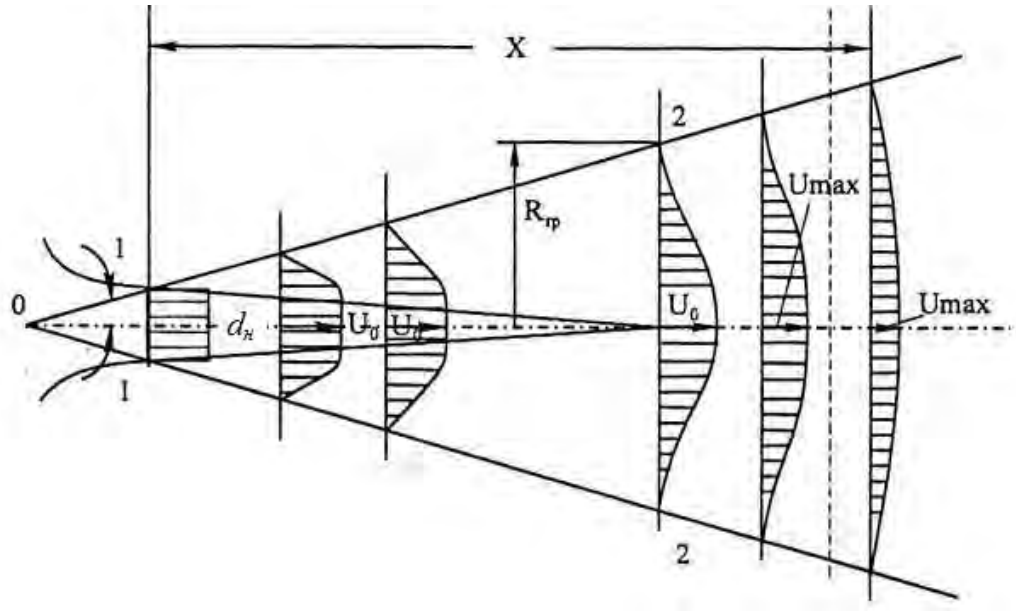


Рисунок 2.25 – Схема свободной затопленной струи

где точка О называется полюсом струи;

сечение 1-1 – начальное сечение струи, соответствующее выходному отверстию кожуха косилки;

сечение 2-2 – конечное сечение струи;

X – длина струи;

$R_{гр}$ – радиус струи в заданном сечении;

U_0 – скорость движения потока в пределах ядра постоянных скоростей;

$d_н$ – эквивалентный диаметр выходного отверстия, м.

По мере удаления от выходного отверстия косилки ядро постоянных скоростей воздушного потока уменьшается, а сама струя расширяется - происходит «размыв» ядра (рисунок 2.25). Это объясняется подтормаживающим действием на струю со стороны окружающей ее среды. Начиная от переходного сечения, скорость вдоль оси струи постепенно уменьшается. Участок струи за переходным сечением называется основным участком [1].

Скорость потока (V_x) на расстоянии x от выходного отверстия можно определить по формулам, полученным Г.Н. Абрамовичем [1]:

$$V_x = \frac{0.96}{\frac{a \cdot x}{d_H / 2} + 0.29} \cdot V_{ВП}, \qquad (2.30)$$

где a – опытный коэффициент, a=0.7–0.8;

$d_н$ – эквивалентный диаметр выходного отверстия, м:

$$d_H = \sqrt{\frac{S}{\pi}},$$

где S – площадь выходного окна, м^2;

x – расстояние от выходного окна до сечения, в котором определяется скорость (V_x), м.

Было проведено численное моделирование параметров процесса движения стебля в воздушном потоке после вылета из кожуха косилки с помощью программного обеспечения Mathcad.

Решение системы уравнений (2.27, 2.28) методом Рунге–Кутты с переменным шагом позволило получить зависимости изменения кинематических параметров частицы, движущейся в воздушном потоке от различных начальных условий движения, что дает возможность проследить изменение скорости, траектории движения частицы (рисунок 2.26).

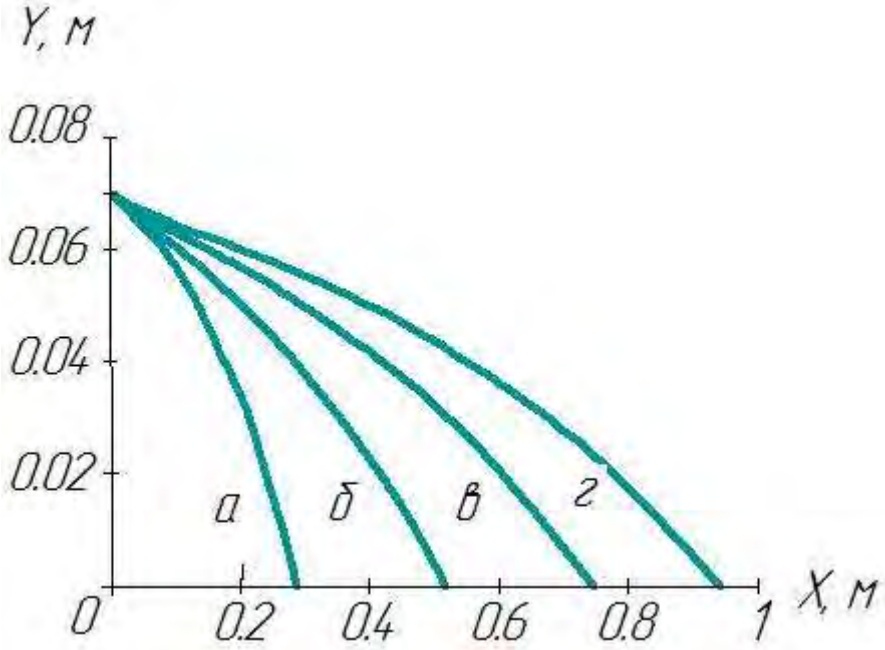


Рисунок 2.26 – Траектория движения частицы, м:

а) без воздушного потока, б) при скорости воздушного потока $V_{ВП}$=3 м/с, в) при скорости воздушного потока $V_{ВП}$=5 м/с, г) при скорости воздушного потока $V_{ВП}$=7 м/с

Как видно из анализа графиков (рисунок 2.26) воздушный поток, сформированный в проточной части косилки выходя из кожуха будет существенно влиять на дальность вылета скошенной и измельченной массы. Таким образом, без дополнительного воздушного потока частица не способна пролететь заданное расстояние, но характер движения воздуха, скорость его истечения из косилки, позволят обеспечить необходимую дальность полета стеблей.

2.8 Выводы по разделу

1. Теоретические исследования показали, что лопасти, установленные на ножи, при вращении будут создавать воздушный поток, который способствует улучшению качества скашивания травы: восходящие потоки воздуха за вращающейся лопастью поднимают полегшую траву и втягивают ее стебли в проточную часть косилки, а нисходящие потоки перед лопастью прижимают стебли к поверхности набегающего на них ножа.

2. Теоретические исследования позволили определить, что форма установленных лопастей оказывает существенное влияние на характер воздушных потоков, дальность полета скошенной массы из кожуха косилки.

3. По результатам проведенного математического моделирования движения стебля по лопасти можно заключить, что рациональным будет выбрать криволинейный, отогнутый назад профиль для лопастей, устанавливаемых на ножах, а увеличение начального угла кривизны лопасти α_1 приводит к повышению скорости движения частицы по лопасти.

4. Исследование движения частицы после выхода из кожуха косилки показали, что без дополнительного воздушного потока частица не способна пролететь заданное расстояние, но характер движения воздуха, скорость его истечения из косилки, позволят обеспечить необходимую дальность полета стеблей.

5. Следует принять следующие конструктивные параметры спирального кожуха: высота Вк=0,25 м; длина L=1,59 м; ширина M=1,326 м; разворот $A_к$=0,55 м; радиусы построения R_1=0,86 м; R_2=0,73 м; R_3=0,59 м.

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа исследований

На основании анализа литературы, проведенных теоретических исследований и исходя из поставленных задач, для подтверждения рабочей и научной гипотезы были запланированы и проведены экспериментальные исследования.

Целью экспериментальных исследований являлась проверка рабочей гипотезы, результатов теоретических исследований, получение данных, необходимых для уточнения и обоснования конструктивных параметров косилки. Программа проведения экспериментальных исследований включала следующие положения.

1. Разработку методики проведения экспериментальных исследований с определением [61, 62]:

- метода, средств измерения и регистрации уровня исследуемых показателей работы (качества кошения и дальности вылета массы из кожуха косилки);
- плана и последовательности постановки опытов;
- методики обработки результатов опытов.

2. Проведение лабораторных исследований по определению характеристик воздушного потока.

3. Определение зависимости дальности вылета скошенной массы от конструктивных параметров лопастей, установленных на ножах косилки.

4. Экспериментальную проверку качества скашивания травостоя разработанной косилкой.

Эксперименты проводились в период 2013–2015 гг. в ООО «Сады Бахчисарая» на яблонях различных возрастов и сортов, а также в лабораториях ФГАОУ ВО «КФУ им В.И. Вернадского»

Академии биоресурсов и природопользования.

Методика исследований предусматривала определение перечисленных показателей посредством лабораторно-полевых исследований с применением средств измерений и приборов.

3.2 Оборудование и приборы, использовавшиеся при проведении лабораторных и полевых исследований

Скорость воздушного потока определялась с помощью следующих приборов: чашечного анемометра Skywatch atmos (рисунок 3.1), термоанемометра модель ST-732 (рисунок 3.2). Обороты вала замерялись с помощью лазерного тахометра (рисунок 3.3). Скошенная транспортированная масса выбиралась и взвешивалась на лабораторных весах (рисунок 3.4).

Рисунок 3.1 – Чашечный анемометр Skywatch atmos

Чашечный анемометр Skywatch atmos имеет чашку, наличие которой даёт возможность измерения независимо от расположения прибора относительно направления воздушного потока. Числовые значения определяемых величин отображаются на трёхстрочном жидкокристаллическом дисплее. Диапазон измеряемых прибором скоростей составляет 2–100 м/с, разрешение – 1 м/с, цикл измерений – каждую секунду, точность измерений при этом составляет 5%.

Инфракрасный термоанемометр ST-732 позволяет проводить измерение скорости воздушного потока от 0,2 до 30 м/с, вычисление потока воздуха 0…54000 м^3/мин. Погрешность измерений до 3 % от полученного значения.

Рисунок 3.2 – Инфракрасный термоанемометр ST-732

Лазерные тахометры являются высокоточными приборами. Лазерные тахометры обеспечивают цифровое измерение скорости вращения поверхности от 2,5 до 99999 об. Точность измерений составляет + 0,05 %.

Рисунок 3.3 – Цифровой лазерный тахометр

Лабораторные весы ВМ, предназначенные для статических измерений массы различных веществ и материалов. Отличаются высокой точностью измерений, имеют погрешность в 1,6–3,3 раза ниже, чем требуется по ГОСТ 24104-01 и которая не превышает 30 мг.

Рисунок 3.4 – Весы лабораторные ВМ

3.3 Последовательность и техника проведения экспериментов

При проведении эксперимента определялась зависимость между высотой лопасти на ноже h – (x_1) с углом α_1 – (x_2), с целью получения качественных показателей дальности вылета массы (y).

Методы планирования экспериментов заключаются в выборе такой стратегии, которая позволит принимать обоснованные решения после каждой серии опытов. Для этого за основу были взяты известные методики планирования эксперимента [2, 7, 20, 33, 46, 82, 132].

В качестве метода анализа изучаемых технологических процессов и конструктивных параметров была принята математическая теория планирования эксперимента — метод построения математических моделей различных управляемых процессов, позволяющих значительно уменьшить число опытов, а, следовательно, — время и средства на проведение эксперимента. Математическая модель объекта исследования обычно представляется в виде полинома (уравнения регрессии), чаще всего первой или второй степени [2, 82].

$$y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum_{i<j} b_{ij} x_i \sum b_{ii} x_j^2 \ , \qquad (3.1)$$

где y – выборочная оценка;

x_i и x_j – значение факторов;

b_0 – свободный член, равный выходу соответствующих факторов, указывающих влияние того или иного фактора на изучаемый объект;

b_i – коэффициенты регрессии соответствующих факторов, указывающие влияние того или иного фактора на изучаемый объект;

b_{ij} – коэффициенты регрессии соответствующих факторов двойного взаимодействия;

b_{ii} – коэффициенты регрессии соответствующих факторов квадратичного взаимодействия.

Такая постановка задачи позволяет оценить долю влияния каждого фактора и взаимодействие их на критерий оптимизации исследуемого процесса, что существенно важно при исследованиях сельскохозяйственных процессов и машин, когда экспериментатор ограничен во времени сезонностью работ и нестабильностью условий их проведения. Кроме того, при работе сельскохозяйственных машин действуют разнородные факторы, которые с помощью теории планирования эксперимента можно связать в единую зависимость.

В настоящее время используются различные планы проведения экспериментов, которые отвечают основным критериям оптимальности. Выбор планов эксперимента требует соответствующего обоснования, исходя из особенностей задачи (требований к статическим свойствам заданной модели) и имеющихся экспериментальных возможностей. Рекомендации по выбору планов проведения экспериментов приводятся в специальной литературе [2, 48, 82].

При планировании эксперимента решается вопрос о числе повторностей опыта при определении той или иной измеряемой величины. В литературе по

обработке результатов измерений известно несколько методов определения необходимого числа повторностей [2, 48, 82].

Число повторностей каждого опыта находили по формуле (3.2):

$$n = \frac{V^2 t^2}{p^2} \tag{3.2}$$

где V – вариационный коэффициент изучаемого свойства, %;

t – показатель достоверности, зависящий от принятой вероятности получаемого результата;

p – показатель точности исследований, %.

Согласно методики [82], при технических исследованиях для нахождения зависимостей различных факторов достаточна доверительная вероятность p=0,7–0,9.

Коэффициенты регрессии математической модели (3.1) рассчитывали на ПК по стандартам программ регрессионного анализа (Statistica, Microsoft Exel) (приложение 4).

Статистическая оценка полученных математических моделей исследуемых процессов проводилась в соответствии с методами регрессионного анализа. Основой такой оценки является ошибка опыта или, точнее, дисперсия воспроизводимости, определение которой зависит от схемы организации эксперимента:

- по дисперсиям дублирующих опытов с одним измерением в каждом;
- по дисперсиям всех опытов с учетом повторностей измерений в каждом.

В последнем случае проверялась гипотеза об однородности дисперсий по G-критерию Кохрена. Для этого расчетное значение критерия определяли по формуле [82]:

$$G = \frac{S^2_{yu_{\max}}}{\sum_{u=1}^{N_n} S^2_{yu}}, \tag{3.3}$$

где $S^2_{yu_{\max}}$ – наибольшая построчная дисперсия;

$\sum_{u=1}^{N_n} S_{yu}^2$ – сумма построчных дисперсий.

Построчные дисперсии S_{yu}^2 определяли по формуле [82]:

$$S_{yu}^2 = \frac{\sum_{1}^{n_u} (y_{ug} - \overline{y_g})^2}{N}, \tag{3.4}$$

где y_{ug} – результат g-го повторения u-го опыта;

$\overline{y_g}$ - среднее арифметическое значение критерия оптимизации всех дублей u-го опыта.

Оценка значимости коэффициентов математических моделей проводилась путем построения доверительных интервалов для коэффициентов регрессии по t-критерию Стьюдента (3.5).

$$\Delta b_0 = \pm t S_{b_0}, \Delta b_i = \pm t S_{b_i}, \ \Delta b_{ij} = \pm t S_{b_{ij}}, \ \Delta b_{ii} = \pm t S_{ii}, \tag{3.5}$$

где t - критерий Стьюдента (имеет табличное значение [2,82]).

При $b_i \triangleright \Delta b_i$ коэффициент считается статистически значимым, то есть абсолютная величина коэффициента должна быть в t раз больше, чем ошибка его определения.

Адекватность построения математических моделей проверялась по F-критерию Фишера, значения которого принимали для 5-процентного уровня значимости при конкретном, зависящем от плана эксперимента, числе степеней свободы. Расчетное значение критерия Фишера $F_{расч}$ определялась по выражению [2,82]:

$$F_{расч} = \frac{S_{неод}^2}{S_y^2}, \tag{3.6}$$

где $S_{неод}^2$ – дисперсия неадекватности;

S_y^2 – дисперсия ошибки опыта.

Дисперсия адекватности находится по формуле [2, 82]:

$$S_{неод}^2 = \frac{m \sum (y_{ср} - y_{теор})^2}{N - (k+1)}, \tag{3.7}$$

где $\sum(y_{ср} - y_{теор})^2$ – сумма квадратов отклонений расчетных значений от экспериментальных во всех точках плана;

N – количество точек плана;

k – число факторов.

Дисперсия ошибки опыта рассчитывается по формуле [7, 82]:

$$S_y^2 = \frac{m\sum_{u=1}^{N}\sum_{i=1}^{m}(y_{iu} - y_{ср})^2}{N(m-1)}, \qquad (3,8)$$

где y_{iu} – значение критерия оптимизации в параллельных опытах;

m – количество опытов.

Подробный порядок проведения указанных статических оценок приведен в литературе по планированию эксперимента [7, 85, 86].

3.4 Лабораторные исследования по определению характеристик воздушного потока

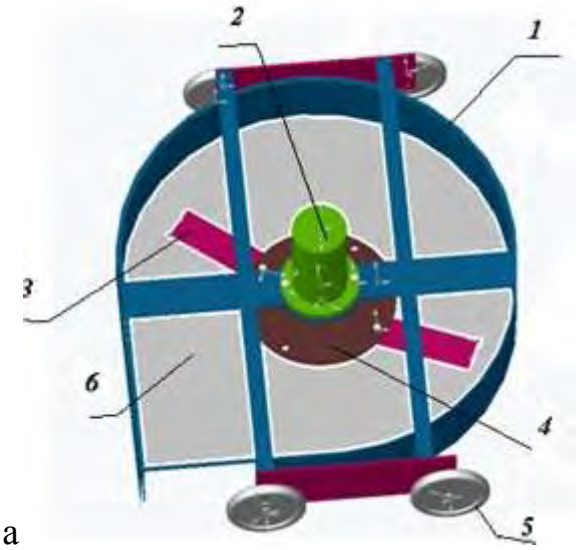
Лабораторные исследования по определению параметров воздушного потока, создаваемого ножами ротора косилки, проводились в лаборатории сельскохозяйственных машин кафедры технических систем в агробизнесе Академии биоресурсов и природопользования ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского».

Целью испытаний было подтверждение гипотезы о влиянии формы лопастей, установленных на ножах косилки, на скорость воздушного потока на выходе из кожуха косилки.

Нами была изготовлена лабораторная установка, позволяющая определить параметры воздушного потока, создаваемого рабочим органом косилки (рисунок 3.4).

Лабораторная установка состоит из рамы (1), электродвигателя постоянного тока 12 В (2), ножей (3), диска (4), к которому крепятся ножи, опорных колес (5), верхней части кожуха (6) (выполнена из прозрачного оргстекла, что позволяет

наблюдать и фиксировать рабочий процесс). Боковая часть кожуха лабораторной косилки выполнена из гибкой резины.



а

Рисунок 3.4 – Лабораторная установка (графическая модель)

Лабораторная установка подключалась к аккумуляторной батарее через реостат, который позволял регулировать число оборотов ротора (рисунок 3.5).

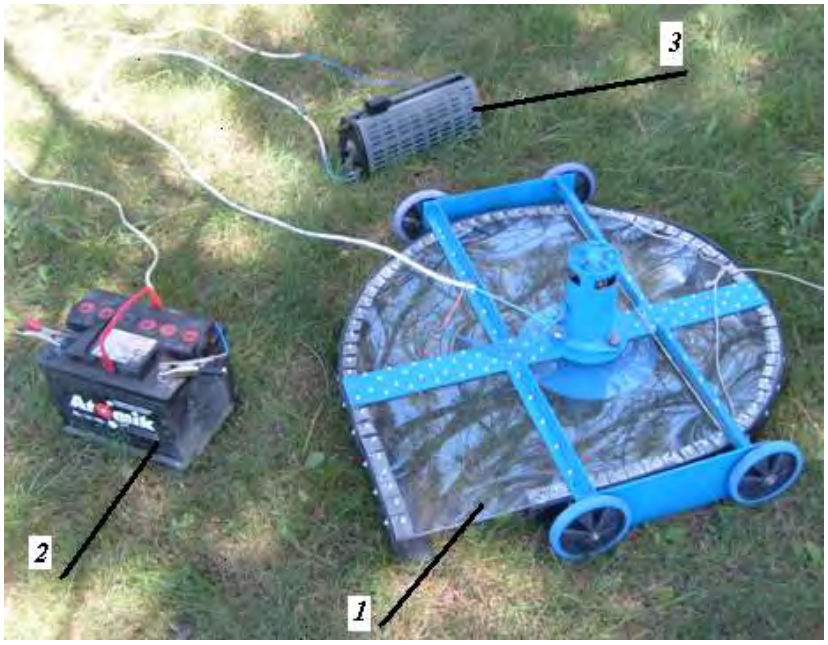


Рисунок 3.5 – Общий вид лабораторной установки

1- косилка, 2- источник тока (АКБ), 3- реостат

Конструкция диска диаметром D = 0,6 м позволяла крепить ножи с длиной режущей кромки l=100 мм. Для проведения лабораторных опытов было изготовлено несколько пар ножей с установленными на них лопастями различной конфигурации.

Установка перемещалась вручную и позволяла осуществлять срез травы на высоте от 50 до 110 мм за счет высоты установки опорных колес. При необходимости высота среза регулировалась при помощи установки под колеса полозьев различной высоты.

Кожух лабораторной установки косилки выполнен в виде вентиляторной улитки. Измерение воздушного потока производилось по методике, изложенной в [126], на выходе улитки. В сечении выходного окна определяется скорость потока $V_{ВП}$. Зная скорость потока и площадь сечения, расход воздуха определяется по формуле:

$$Q=FV_{ВП}\,, \tag{3.9}$$

где F – площадь выходного сечения, м^2;

$V_{ВП}$ – средние скорости воздушного потока на выходе, м/сек.

Формулой (3.9) можно пользоваться при $V_{ВП}$ = const в любой точке сечения. Так как скорость потока в измеряемых сечениях неравномерна, необходимо измерять ее в различных точках сечения и потом находить среднюю скорость.

$$V_{ВПср} = \frac{V_{ВП1} + V_{ВП2} + V_{ВП3} ... V_{ВПn}}{n} \tag{3.10}$$

Для получения удовлетворительного приближения к фактической средней скорости площадь поперечного выходного сечения разбивали на несколько равновеликих площадей. В нашем случае на n=36 ячеек (6×6), площадь сечения F=0,027 м^2 [126] (рисунок 3.6). Измерения проводились в трех повторностях (3.2) в каждой ячейке (таблица 3.1–3.3).

Если вся площадь поперечного сечения F разбита на z равновеликих площадей, то подача воздуха через все сечения составит [124]:

$$Q=F\,V_{ВП} = \frac{F}{z}(V_{ВП1} + V_{ВП2} + V_{ВП3} ... V_{ВПz}) \tag{3.11}$$

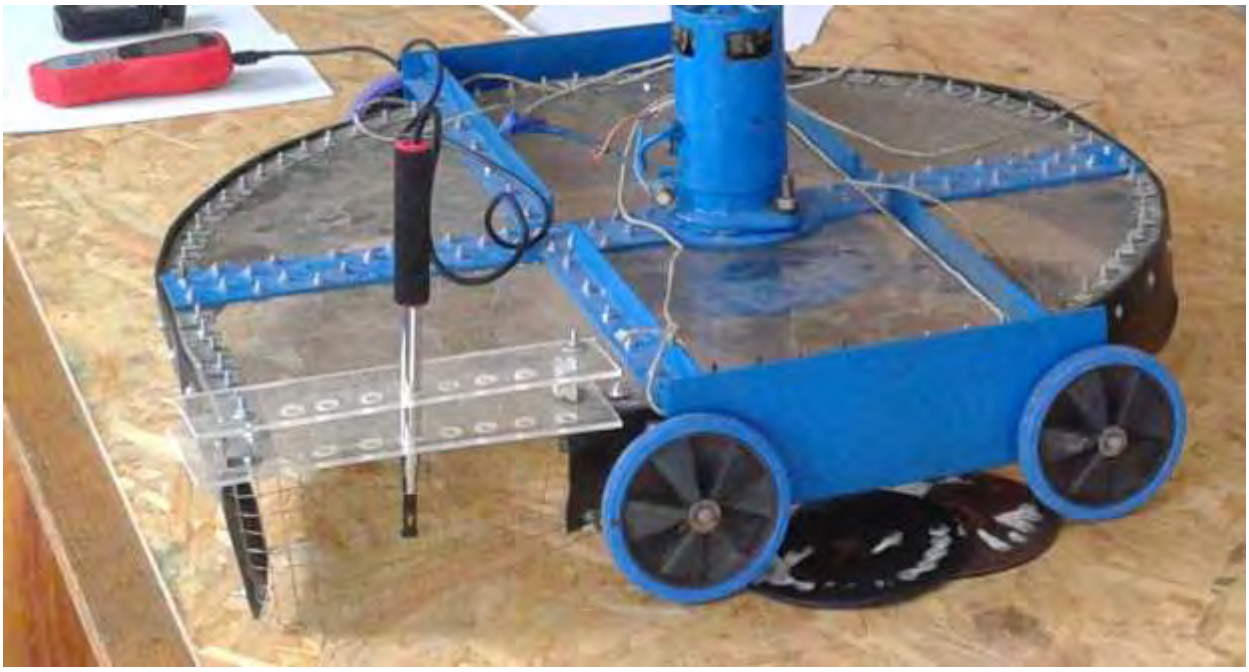


Рисунок 3.6 – Измерение воздушного потока в каждой ячейке анемометром

Измерение воздушного потока производилось при работе тремя комплектами ножей: стандартные ножи; ножи с прямолинейными радиальными лопастями; ножи с криволинейными лопастями (рисунок 3.7).

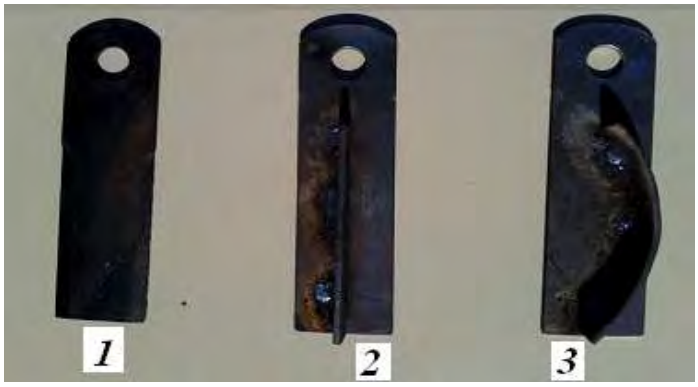


Рисунок 3.7 – Ножи лабораторной косилки: 1 – стандартные, 2 – с прямолинейной радиальной лопастью, 3 – с криволинейной лопастью

3.5 Исследование влияния геометрических параметров лопасти на дальность вылета скошенной массы

Согласно результатам теоретических исследований, установлено, что основными факторами, влияющими на дальность вылета скошенной и

измельченной массы из кожуха косилки в приствольную полосу, является угол α_1 (характеризующий кривизну лопасти, установленной на ноже косилки) – фактор x_1. На расход воздуха, характер воздушного потока, разряжение внутри межлопастного пространства и проточной части косилки напрямую влияет высота лопастей [126]. Высоту лопасти h обозначим как фактор x_2. Взаимодействие двух факторов – x_1x_2. Эффект взаимодействия двух факторов свидетельствует о том, что изменение одного фактора сопровождается непропорциональными изменениями результатов эксперимента при изменении уровней другого, что свидетельствует о неадекватности линейной модели в данном случае и обуславливает необходимость планирования эксперимента второго порядка, при котором варьирование производится на трех уровнях. Поэтому был выбран план проведения полного факторного эксперимента, представленный в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Матрица планирования эксперимента при исследовании дальности вылета скошенной массы, L

№ опыта	Фактор		L, м
	x_i	x_2	
1	1	1	
2	-1	1	
3	1	-1	
4	-1	-1	
5	1	0	
6	-1	0	
7	0	1	
8	0	-1	
9	0	0	

Для приведения матрицы планирования к стандартному виду и линейного преобразования координаты факторного пространства, было проведено кодирование факторов (таблица 3.5), основанное на соотношении:

$$\chi_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i}, \qquad (3.12)$$

где χ_i – кодированное значение фактора;

x_i – натуральное значение фактора;

x_{i0} – натуральное значение фактора на нулевом уровне;

Δx_i – натуральное значение интервала варьирования.

Таблица 3.5 – Уровни варьирования факторов при исследовании дальности вылета скошенной массы из кожуха косилки

Фактор	Натуральные значения x_i			Кодированные значения χ_i		
	нижний уровень	нулевой уровень	верхний уровень	нижний уровень	нулевой уровень	верхний уровень
x_1 – угол α_1, град	15	30	45	-1	0	+1
x_2 – высота лопасти h, мм	0,1	0,3	0,5	-1	0	+1

Скашивание травостоя осуществлялось последовательно косилкой с рабочим органом, снабженным ножами с установленными на них лопастями с различной высотой, (соответствующей фактору x_2) и радиусом кривизны, соответствующему углу α_1 (соответствующей фактору x_1) (рисунок 3.8).

Рисунок 3.8 – Нож косилки с установленной лопастью

Затем агрегат осуществлял прокос травостоя вдоль улавливающей плоскости и замерялась дальность вылета измельченной массы (рисунок 3.9).

Улавливающая плоскость выполнена из агроволокна 3000х1700 мм и разделена на квадраты 50х50 мм для выборки скошенной и перемещенной массы. Скошенная, измельченная и выброшенная масса собиралась и взвешивалась отдельно по зонам улавливающей плоскости. Визуально определялась и измерялась граница выброса основной массы стеблей на улавливающей плоскости. От этой границы через каждые 10 мм на ширине 100 мм производились выборки скошенной массы и фиксировалось расстояние от зоны прокоса. За дальность–ширину вылета принималась ширина полосы на улавливающей плоскости, содержащая не менее 85 % срезанных стеблей от общей их массы [130].

Рисунок 3.9 – Улавливающая плоскость

После фиксирования результатов изменялись значения факторов (менялся рабочий орган) и эксперимент повторялся. Необходимое количество повторностей опытов n=9 определялось согласно методике [82], при доверительной вероятности 0,95 и предельной ошибке $E=\pm 3\sigma$.

Полученные данные обрабатывались на персональном компьютере методами математической статистики с помощью компьютерной программы Statistica.

С целью получения представления о геометрическом образе поверхности отклика, производили каноническое преобразование уравнения регрессии, получали графическую модель поверхности отклика.

3.6 Определение качества кошения

Эксперименты проводились на лугу, засаженном бобовыми (желтая люцерна, мышиный горошек), злаковыми (ковыль-волосатик, типец, житняк гребенчатый) и разнотравьем (полынь горькая, шалфей луговой). Плотность посадки – 4845 шт/м^2, урожайность – 1,25 т/га, средний диаметр у корневой шейки: бобовые – 1,5–2,5 мм; злаковые – 1,4–3,0 мм; разнотравье – 1,8–6,5 мм. Высота стеблей находилась в пределах 200–350 мм.

Целью экспериментов является анализ качественных показателей кошения травостоя при использовании серийного рабочего органа и рабочего органа с дополнительно установленными лопастями на ножах.

Агротехническими требованиями предусмотрено низкий, одинаковый по высоте срез, не допускаются пропуски и неполное скашивание. Чистота среза и высота стерни являются основными показателями качества кошения [57].

За основной показатель качества кошения при проведении экспериментов по скашиванию травостоя серийными и экспериментальными ножами принята высота среза стеблей в пределах 70–90 мм. Среднестатистическая высота растений определялась в соответствии с ОСТ 70. 82-74, измерения проводились в трехкратной повторности не менее пятидесяти стеблей на 100 м^2. Данные по результатам замеров высоты среза растений заносились в таблицу (приложение 5).

Для определения средней величины среза стеблей при работе существующим и усовершенствованным рабочим органом использовали методы математической статистики [57, 64].

Полученные данные высоты стерни при кошении серийным и усовершенствованным рабочим органом сравнивали по величинам их средних значений [18, 19, 64].

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Эксперименты проводились в лаборатории ФГАОУ ВО «КФУ им В.И. Вернадского» Академии биоресурсов и природопользования и на плодоносящих садах и виноградниках ООО «Сады Бахчисарая», Республика Крым.

4.1 Результаты лабораторных исследований по определению характеристик воздушного потока

Предварительные эксперименты были направлены на подтверждение выдвинутой гипотезы о возможности выноса скошенных и измельченных стеблей из кожуха косилки в приствольную полосу за счет воздушного потока, создаваемого ножами ротора. Была изготовлена лабораторная установка косилки (рисунок 3.5), кожух которой выполнен в форме улитки. Для экспериментов изготовлены несколько видов ножей с установленными на них лопастями одинаковой высоты с различным профилем и различными углами α_1 и α_2 (рисунок 3.7). Целью экспериментов являлась проверка влияния формы лопастей на ножах на скорость воздушного потока, создаваемого ротором при работе косилки. Опыты проводились по методике, описанной в пункте 3.4.

Таблица 4.1 – Среднее значение измерений в каждой ячейке скорости воздушного потока, создаваемого стандартными ножами, м/с.

№ ячейки	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
1	2,5	2,7	2,34	2,4	2,5	2,41
2	2,03	2,12	2,08	2,39	2,38	2,35
3	1,98	1,93	1,95	2,32	2,5	2,24
4	1,99	2,05	2,06	2,3	2	1,98
5	1,67	1,73	2,06	2,04	1,57	1,52
6	1,5	1,49	1,45	1,78	1,52	1,4

Средняя скорость воздушного потока в выходном отверстии кожуха лабораторной косилки $V_{ВП}$ =2,034 м/с, расход воздуха, создаваемый рабочим органом косилки, составляет Q=0,055 м^3/с.

Таблица 4.2 – Среднее значение измерений в каждой ячейке скорости воздушного потока создаваемого ножами с прямолинейными лопастями, м/с.

№ ячейки	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
1	5,83	5,79	6,1	5,9	5,85	5,96
2	5,56	5,63	5,8	5,78	5,81	5,87
3	5,41	5,7	5,64	5,8	5,67	5,53
4	4,56	4,8	4,3	5,1	4,87	4,89
5	4,2	4,41	5,12	4,32	4,9	4,7
6	5,83	5,79	6,1	5,9	5,85	5,96

Средняя скорость воздушного потока в выходном отверстии кожуха лабораторной косилки $V_{ВП}$ =5,27 (м/с), расход воздуха, создаваемый рабочим органом косилки, составляет Q=0,14 (м^3/с).

Таблица 4.3 – Среднее значение измерений в каждой ячейке скорости воздушного потока создаваемого ножами с криволинейными лопастями α_1=44°; α_2=12°, м/с.

№ ячейки	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
1	6,53	6,9	6,4	7,2	7,38	6,9
2	7,2	6,74	6,9	7	6,67	6,35
3	6,85	5,53	6	6,9	6,28	6,8
4	6,32	4,99	5,38	5,63	5,97	5,52
5	5,8	5,8	4,92	5,8	5,5	5,1
6	4,92	4,85	4,6	4,9	5,23	4,78

Средняя скорость воздушного потока по трем повторностям в выходном отверстии кожуха лабораторной косилки $V_{ВП}$=6,02 (м/с), расход воздуха, создаваемый рабочим органом косилки составляет Q=0,162 (м^3/с).

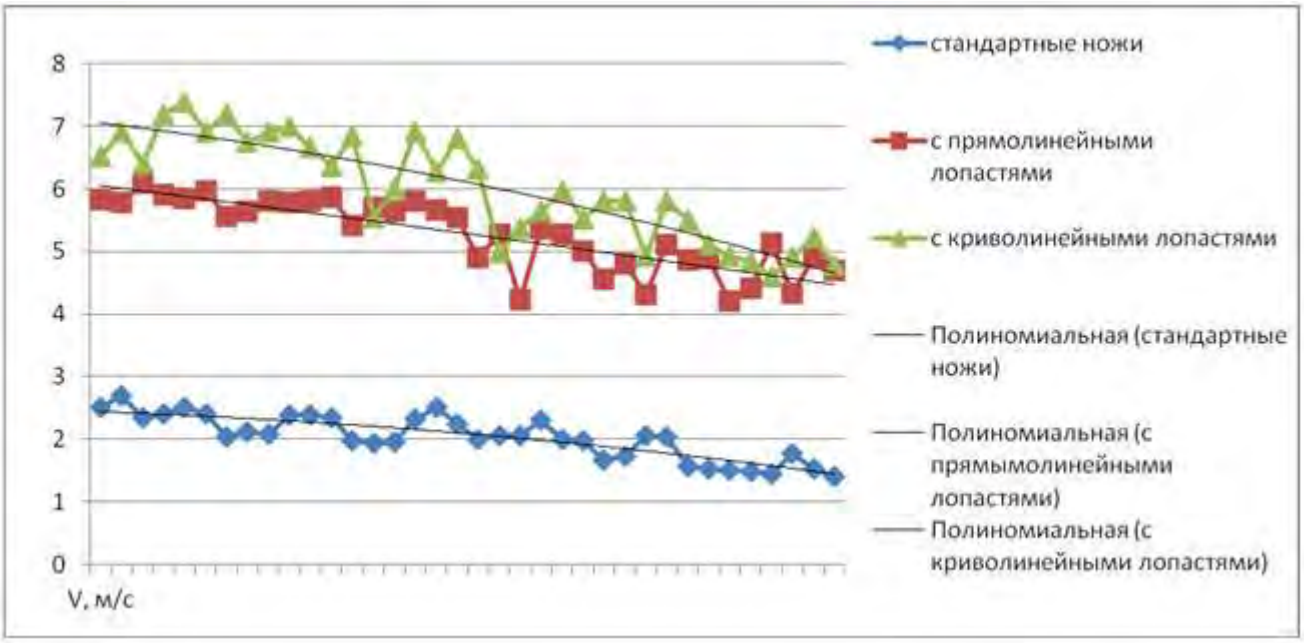


Рисунок 4.1 – Скорость воздушного потока на выходе из кожуха лабораторной установки

По результатам лабораторных исследований установлено, что наибольший расход воздуха в выходном отверстии кожуха лабораторной установки достигается при установке на ножи криволинейных лопастей. Изменение углов кривизны лопастей оказывает непосредственное влияние на характер воздушного потока на выходе из кожуха косилки. Согласно результатам исследований, представленным во втором разделе, скорость воздушного потока на выходе из кожуха лабораторной установки является достаточной для транспортировки измельченной массы в приствольную полосу. Гипотеза о возрастании воздушного потока в зависимости от формы лопастей, рассмотренная во втором разделе, подтверждается.

4.2 Зависимость дальности вылета скошенной измельченной массы от углов кривизны и высоты лопастей, установленных на ножах косилки

В соответствии с планом экспериментальных исследований (таблица 3.4) был проведен ряд опытов по скашиванию травостоя в междурядьях плодовых

деревьев и транспортировки скошенной массы в зависимости от конструктивных параметров рабочего органа косилки.

При исследовании процесса транспортировки скошенной и измельченной массы обеспечивалась равномерная транспортная скорость агрегата и постоянная окружная скорость вращения роторов.

Полученные значения экспериментов обработаны по методике [2, 7, 20, 33, 46, 82, 132] (приложение 4).

Для представленного в таблице 3.4 плана экспериментальных исследований был принят уровень значимости α=0,05. Число степеней свободы в каждой строке опыта f_1=2, а по всем опытам – f_2=15.

Таблица 4.4 – Результаты исследований дальности вылета массы из кожуха косилки

№ опыта	Вариант фактора X_1	Вариант фактора X_2	Наблюдения фактора		
1	1	1	0,5	0,5	0,49
2	-1	1	0,2	0,21	0,21
3	1	-1	0,25	0,26	0,25
4	-1	-1	0,15	0,16	0,15
5	1	0	0,45	0,45	0,44
6	-1	0	0,2	0,21	0,2
7	0	1	0,45	0,43	0,44
8	0	-1	0,2	0,21	0,21
9	0	0	0,35	0,33	0,34

Расчет коэффициентов регрессии позволил получить следующее уравнение регрессии в кодированных переменных (приложение 4):

$$y = 0{,}354 + 0{,}1x_1 + 0{,}08x_2 - 0{,}035x_1^2 - 0{,}037x_2^2 + 0{,}047x_1x_2 \qquad (4.1)$$

Проверка экспериментальных данных на воспроизводимость осуществлялась с помощью критерия Кохрена:

$$G = \frac{S_{UMAX}^2}{\sum_{U=1}^{n} S_U^2} \le G(0{,}05; f_n; f_U), \qquad (4.2)$$

где $S_U^2 = \frac{\sum_{P=1}^{m}(y_U - \overline{y_U})^2}{m-1}$ – дисперсия воспроизводимости опытов на U-ом сочетании уровней факторов;

P=1, 2…, m – число параллельных опытов;

S_{UMAX}^2 – наибольшая из дисперсий в точках плана;

$G(0{,}05; f_n; f_U)$ – табличное значение критерия Кохрена на 5%-ом уровне значимости;

f_n=n – число независимых оценок дисперсии;

f_U=m-1 – число степеней свободы каждой оценки.

Значение критерия Кохрена составило G=0,23≤0,27.

Так как неравенство (4.2) выполняется, процесс считается воспроизводимым. Для оценки значимости коэффициентов регрессии используется критерий Стьюдента:

$$|b_i| \geq \Delta b_i = t(0{,}05; f_Y) \cdot \frac{\sqrt{S_Y}}{\sqrt{n}}, \qquad (4.3)$$

где t(0,05; f_Y) – 5%-ная точка распределения Стьюдента с f_Y степенями свободы;

S_Y – дисперсия воспроизводимости (ошибка опыта);

n – количество повторностей опыта;

$|b_i|$ – табличное значение критерия Стьюдента. В нашем случае $|b_i|$=2,262.

Так как $|b_i|$=2,262≥Δb_i=1,653, то неравенство (4.3) выполняется.

Следовательно, коэффициенты регрессии являются значимыми. Из этого можно сделать вывод, что факторы, закодированные под ними, влияют на протекание процесса перемещения скошенной массы из кожуха косилки.

$$L = -0.455 + 0.017\alpha_1 + 0.014h - 0.0003\alpha_1^2 - 0.0002h^2 + 0.4275\alpha_1 h, \qquad (4.4)$$

где α_1 – угол кривизны лопасти, град;

h – высота лопасти, м;

L – дальность вылета частицы из кожуха косилки, м.

Для оценки влияния переменных факторов на искомый критерий дальности вылета частицы проанализируем уравнение регрессии в кодированных переменных (4.1).

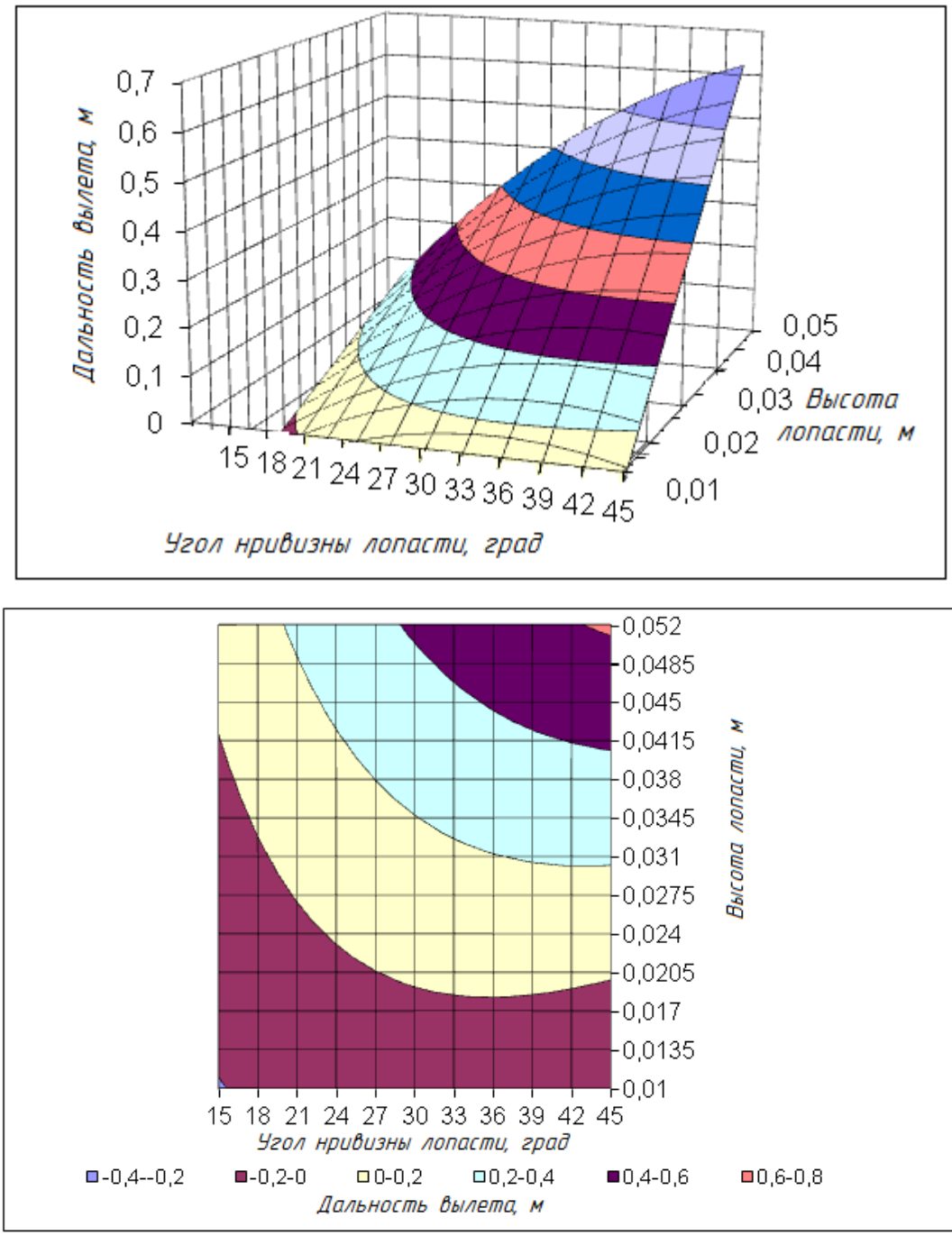


Рисунок 4.2 – Зависимость дальности вылета скошенной массы от угла кривизны и высоты лопасти

Видно, что коэффициенты регрессии для первого и второго факторов практически равные. Факторы оказывают равносильное влияние на критерий

оптимизации. Положительный знак перед коэффициентами b_1 и b_2 указывает на то, что изменение x_1 и x_2 вызывает увеличение критерия оптимизации. Причем линейное значение коэффициентов обоих факторов имеет положительный знак, а квадратичное – отрицательное, приводящее к уменьшению значения критерия оптимизации. Коэффициент двойного взаимодействия имеет положительный знак и также является значимым.

Рассмотрим зависимость дальность вылета частицы (L) от угла кривизны (α_1) отдельно при различной высоте лопасти (h) (рисунок 4.3).

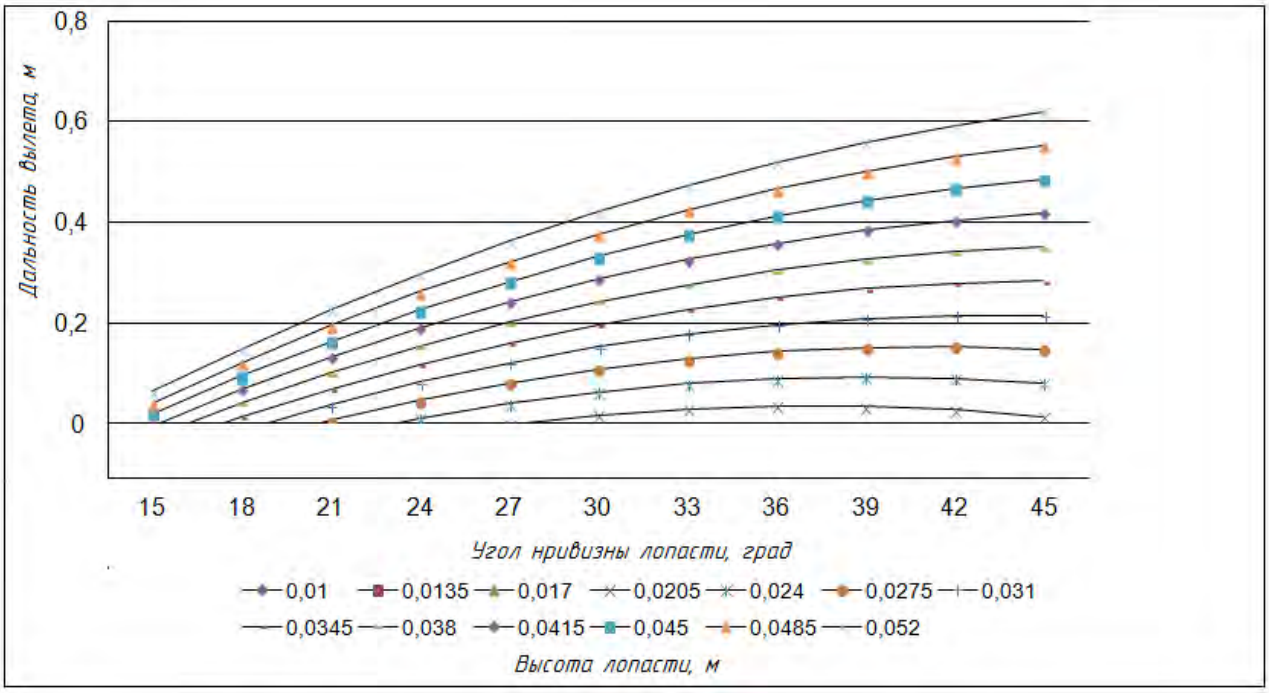


Рисунок 4.3 – Зависимость дальности вылета скошенной массы от угла кривизны при различной высоте лопасти

Как видно из анализа графиков, необходимая минимальная дальность вылета частицы из кожуха косилки (L=0,35м) достигается при высоте лопасти от 0,035 м и выше (рисунок 4.2–4.3). Увеличение угла кривизны лопасти α_1 до некоторого значения сопровождается увеличением выходного параметра функции, но при дальнейшем увеличении угла наблюдается снижение значения (дальность вылета уменьшается). При этом точка перегиба кривых L не одинакова для различных значений высоты лопасти h, это обусловлено взаимодействием двух факторов, определенных при анализе коэффициентов

регрессии (4.1). Увеличение высоты лопасти ведет за собой повышение сопротивления воздуха при вращении ротора и, соответственно, увеличению энергоемкости. Потому целесообразно выбрать следующие конструктивные параметры криволинейных лопастей, установленных на ножах рабочего органа косилки, учитывая зависимости (2.20 – 2.23): высота лопасти h=0,038 м, углы кривизны α_1=43°, α_2=11°, радиус кривизны R=0,183 м, радиус окружности центров лопастей R_0=0,54 м. Результаты проведенных экспериментов подтверждают теоретические данные по определению оптимальных параметров рабочего органа косилки. Криволинейные лопасти, установленные на ножах косилки, и кожух в форме вентиляторной улитки обеспечивают вылет скошенной массы в приствольную полосу.

4.3 Результаты экспериментов по определению качества среза существующим и усовершенствованным рабочим органом

Замеры высоты среза при кошении травостоя усовершенствованным и серийным рабочим органом проводились в ООО «Сады Бахчисарая», Республика Крым.

Характеристика участка, на котором проводились замеры, приведена в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Характеристика экспериментального участка

Показатель	Значение показателей
Рельеф участка	ровный
Состав травостоя	бобовые, злаковые, разнотравье
Густота травостоя, стеблей на 1 м^2	4845
Влажность травостоя	44–80%
Средний диаметр у корневой шейки стебля d, мм	2.9
Минимальная жесткость травостоя, кг/см^2 Средняя жесткость травостоя, кг/см^2 Максимальный жесткость травостоя, кг/см^2	0,3 28,56 505
Площадь участка, м^2	100

Результаты исследований по определению качества среза при кошении травостоя усовершенствованным и существующим рабочим органом представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Результаты исследований по определению качества среза травостоя

Показатель	Единицы измерения	Существующий рабочий орган	Разработанный рабочий орган
Скошенные стебли (высота среза до 10 см)	%	79	97
	шт/м^2	3827	4700
Частично срезанные стебли (высота среза от 10 до 15 см)	%	16,5	1
	шт/м^2	795	55
Пропущенные стебли (высота среза более 15 см)	%	4,5	2
	шт/м^2	223	91

а) б)

Рисунок 4.4 – Пропущенные стебли при кошении существующим рабочим органом: а – нескошенные стебли; б – частично скошенные

В результате проведенных полевых экспериментов, направленных на определение качества кошения, при работе усовершенствованным рабочим органом (использовавшим воздушный поток для подъёма полеглых и смятых стеблей) по сравнению с серийным рабочим органом было установлено, что количество пропущенных, не срезанных стеблей при работе разработанным рабочим органом снизилось с 21 до 3 %; срез стерни более чистый и равномерный.

Выводы: применение усовершенствованного рабочего органа оказывает положительное влияние на качество среза травостоя (количество пропущенных (не срезанных) стеблей сократилось на 18 %). Данные замеров высоты среза представлены в приложении 5.

4.4 Производственная проверка опытного образца косилки и внедрение результатов исследований

С учетом проведенных теоретических и экспериментальных исследований был изготовлен экспериментальный образец косилки для скашивания сидератов в садах и на виноградниках с одновременным мульчированием приствольных полос (рисунок 4.5).

Производственные испытания косилки проводились в ООО «Сады Бахчисарая» и др. хозяйствах Крыма (приложение 6, 9, 10, 11). Интенсивный сад 2005 г. посадки с междурядьями 3 м. Свободная часть междурядий была залужена многолетними травами, приствольные полосы с шириной 0,5 м по каждую сторону ряда, по технологии проводятся обработки агрохимикатами (гербицидами), стыки гербицидного пара и залужения обрабатываются фрезой.

Опытный образец косилки состоит из рамы, присоединяемой к навесному устройству на опорных колесах (рисунок 4.5). На раме установлен корпус с двумя роторами, каждый ротор помещен в кожух в форме улитки. Привод рабочих органов механический от ВОМ трактора через карданный вал и систему конических редукторов. Рабочие ножи установлены шарнирно и способны отклоняться при встрече с посторонними предметами. Роторы с ножами вращаются в противоположных направлениях, что исключает вибрацию машины и ее занос во время работы.

Ножи снабжены лопастями. Боковые противорезы исключают забивание рабочих органов скошенными растениями. Навешивание, эксплуатация, обслуживание и текущий ремонт машины осуществляет один человек (тракторист-машинист). Регулируемая система навески машины позволяет

проводить скашивание как по оси движения трактора, так и со смещением в любую сторону до 500 мм. Косилка имеет регулировку по высоте кошения от 50 мм до 300 мм. Косилка в агрегате с трактором может работать на склонах крутизной до 10°.

Рисунок 4.5 – Экспериментальный образец косилки

Технологический процесс происходит следующим образом: при движении агрегата по междурядью зеленая масса скашивается и измельчается. При вращении ножей с установленными на них лопастями криволинейной формы возбуждается воздушный поток, который поднимает примятый травостой, способствуя улучшенному качеству кошения, геометрия кожуха направляет воздушный поток в выходное отверстие, выбрасывая измельченную массу в приствольную полосу. Выходные отверстия кожухов роторов направлены в противоположные стороны и позволяют выбрасывать массу в правый и левый ряд, соответственно, по ходу движения агрегата.

Опытный образец машины изготовлен с учетом оптимальных конструктивных параметров рабочих органов и режимов работы, определенных в результате теоретических и экспериментальных исследований (таблица 4.7).

Таблица 4.7 – Основные параметры косилки КВР – М

Техническая характеристика	
Тип машины	Навесная
Масса конструкции, кг	350
Количество конических редукторов, шт.	3,0
Количество ножей (подвижных + неподвижных)	8+2
Ширина захвата кошения, м	2,4
Рабочая скорость при кошении, км/ч	5 – 8
Производительность при кошении, га/ч	до 1,5
Агрегатирование	Т-40, ЮМЗ–6 АКЛ, МТЗ–80, МТЗ–82
Углы кривизны лопастей, установленных на ножах, град.	α_1=43°, α_2=11°
Высота лопастей, мм	38
Радиусы разворота внутреннего спирального кожуха, м	R_1=0,86 м; R_2=0,73 м; R_3=0,59 м.

В ходе производственных испытаний были получены следующие результаты (приложение 6, 9, 10, 11).

1. Косилка обеспечивает на высоте среза 80 мм полноту скашивания не менее 97 %.

2. Травостой в междурядьях скашивается, измельчается на частицы размером до 0,06 м.

3. Скошенная масса перемещается в ряд деревьев, за каждый проход агрегат накрывает мульчирующим материалом приствольные полосы двух полурядов.

4. Скорость выполнении технологического процесса при установленных параметрах и режимах работы составляет 5–7 км/ч. Увеличение скорости выше допустимой снижает полноту скашивания и количество массы, перемещенной в ряд деревьев, наблюдается оставление скошенной массы в междурядье.

5. Эффективность испытываемой косилки достигается за счет улучшения качества скашивания травы в междурядьях, а также за счет равномерного выброса мульчматериала (скошенной и измельченной травы) по обе стороны агрегата.

6. Внедрение разработанной косилки позволяет сократить число операций скашивания травостоя до четырех за сезон.

7. Мульчирование приствольных полос является эффективным агротехнологическим приемом в борьбе с сорной растительностью в приствольной полосе и позволяет снизить внесение гербицидов до одной технологической операции за сезон.

4.5 Выводы по разделу

1. В результате лабораторных исследований установлено, что наибольший расход воздуха в выходном отверстии кожуха лабораторной установке Q=0,162 м^3/с, при скорости воздушного потока $V_{ВП}$ =6,02 м/с достигается при установке на ножи криволинейных лопастей. Изменение углов кривизны лопастей оказывает непосредственное влияние на характер воздушного потока на выходе из кожуха косилки. Согласно результатам исследований, приведенным во втором разделе, скорость воздушного потока на выходе из кожуха лабораторной установки является достаточной для транспортировки измельченной массы в

приствольную полосу. Гипотеза о возрастании воздушного потока, рассмотренная во втором разделе, подтверждается.

2. Экспериментально подтверждено, что наличие лопастей на ножах рабочего органа косилки и спирального кожуха обеспечивает перемещение скошенной травы в междурядьях в приствольные полосы. Для достижения необходимой дальности вылета скошенной массы углы кривизны лопастей должны находиться в пределах α_1=43°, α_2=11°, высота установленных лопастей должна быть h= 0,038 м, радиус кривизны R=0,183 м, радиус окружности центров лопастей R_0=0,54 м.

3. Экспериментальные исследования подтверждают результаты и рекомендации теоретических исследований.

4. Производственная проверка опытного образца косилки показала её работоспособность при качественном выполнении технологического процесса. Устройство при скорости движения до 7 км/ч обеспечивает на высоте среза 80 мм полноту скашивания не менее 97%. Скошенная масса перемещается в ряд деревьев и равномерно распределяется в приствольной полосе.

5. Эффективность испытываемой косилки достигается за счет улучшения качества скашивания травостоя в междурядьях, снижения норм внесения гербицидов и сокращения числа операций скашивания травостоя.

5 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ КОСИЛКИ ДЛЯ СКАШИВАНИЯ СИДЕРАТОВ В МЕЖДУРЯДЬЯХ САДОВ И ВИНОГРАДНИКОВ

5.1 Экологическая и энергетическая оценка внедрения косилки для ухода за междурядьями садов и виноградников

Косилка КВР–М представляет собой прицепную сельскохозяйственную машину, предназначенную для скашивания травостоя в междурядьях садов и виноградников, измельчения скошенной массы и транспортировки её в приствольную полосу.

Развитие научно-технического прогресса в производстве продукции садов и виноградников связано с затратами основных капиталовложений, трудовых ресурсов, металла и топлива. Поэтому при определении эффективности новой техники и новых технологий необходимо учитывать также потребление металла и топлива (энергии) для производства и эксплуатации технических средств и оборудования. Это позволит всесторонне оценивать эффективность и перспективность внедрения новых технических средств и решений по их изготовлению.

Постоянное совершенствование агротехники производства сельскохозяйственных культур привело к созданию чрезвычайно энергоёмких технологий, влияющих на экономику и наносящих вред окружающей среде. В последнее время становится все очевиднее, что энергоемкость технологий может быть оценкой её воздействия на окружающую среду. При всей многоплановости и неоднозначности отдельных составных частей, энергоемкость технологии может служить интегральным показателем антропогенного влияния на экологическую среду. Международным сообществом установлены квоты, своего рода (ПДК), на энергетическую нагрузку на 1 га угодий за год (30000 ГДж).

Ряд технологий, в том числе производства плодов и винограда, входит в противоречие, с одной стороны, с качеством урожая, а с другой, – с экологическими проблемами. Поэтому в последнее время разрабатываются лимиты на технологии и критерии их оценки. Каждое новое поколение технологии отличается от предыдущей большей энергоёмкостью, особенно за счет применения косвенной энергии, причем прирост урожая все меньше компенсирует увеличение энергозатрат.

Сравнительной оценки по приведенным затратам в денежных единицах измерения недостаточно, чтобы судить об эффективности внедрения новых сельскохозяйственных технологий, рабочих процессов машин и механизмов, так как использование стоимостных показателей эффективности машин и технологий в условиях инфляции ведет к необъективности отражения результатов [12, 36, 65, 131]. Определение экономической эффективности технологии ухода за междурядьями при возделывании садов и виноградников в денежном эквиваленте не учитывает много важных факторов, а именно: уровень негативного влияния механизированного сельскохозяйственного производства на почву (экологический фактор) и расход невозобновляемой энергии (энергетический фактор).

Поэтому необходим комплексный показатель, который с достаточной достоверностью позволял бы измерять затраты на производство продукции стоимостных показателей. Такими показателями могут быть энергозатраты [35, 36, 37, 80].

Энергетический и технико-экономический расчет эффективности внедрения косилки под условной маркой КВР-М для скашивания сидератов в междурядьях садов и виноградников проведен в сравнении с используемой в интенсивном саду ООО «Сады Бахчисарая» косилкой КИУ-2А по результатам производственных испытаний 2013–2015 гг. (рисунок 4.5). Предполагается, что основной энергетический и экономический эффект будет получен от изменения количества получаемой продукции (при мульчировании приствольных полос происходит увеличение урожайности на 8–10 % [3]), уменьшения количества технологических операций скашивания травостоя в междурядьях. Также

мульчирование приствольных полос является эффективным приемом в борьбе с сорной растительностью. Убытки от сорняков превосходят потери от вредителей, болезней и градобития вместе взятых [3]. Внедрение разработанной косилки позволит покрывать мульчирующим материалом приствольную полосу и сократить нормы внесения гербицидов, что также положительно скажется на эффективности внедрения новой косилки, ведь внесение гербицидов является дорогостоящей и энергоемкой технологической операцией.

За серийными косилками наблюдается неспособность удовлетворительно скашивать полеглые и примятые стебли. Степень полеглости, спутанности и примятости травостоя в междурядьях многолетних насаждений велика, также стебли прикатываются колесами трактора, выполняющего агротехнические операции. Все это обусловливает большое количество нескошенных (частично скошенных) растений. Пропущенные (нескошенные) стебли продолжают свой рост. Большое количество пропусков приводит к необходимости повторного прохода косилки или увеличения количества операций скашивания за сезон.

При использовании базовой косилки КИУ-2А была необходимость проведения дополнительных операций скашивания травостоя для предотвращения образования семян и снижения нагрузки на культурные растения.

По результатам проведенных исследований установлено, что внедрение разрабатываемой косилки КВР–М оказывает положительное влияние на качество среза травостоя: количество пропущенных (не срезанных) стеблей сократилось на 18 % и сокращает количество операций кошения в междурядьях с 6 (при использовании базовой косилки) операций за сезон до 4 (при использовании новой косилки).

Энергоемкость технологии скашивания сидератов в междурядьях садов и виноградников определялась как сумма затраченной энергии с применением базового и нового вариантов на выполнение каждой операции технологии [37, 94], то есть:

$$E_{вход} = \sum_j E_{вход.j} \quad (5.1)$$

где j – номер технологической операции.

Энергоемкость одного скашивания состоит из суммы энергоемкостей трактора и косилки как массы металла, топлива и труда механизатора. Количество невозобновляемой энергии, потраченной на 1 га для выполнения операции $E_{вход.j}$, составляет энергетический баланс:

$$E_{вход.j} = E_{тр} + E_{кос} + E_{дт} + E_{люд}, \quad (5.2)$$

где $E_{тр}$ – энергоемкость работы трактора как массы металла, МДж/га;

$E_{кос}$ – энергоемкость работы косилки как массы металла МДж/га;

$E_{дт}$ – энергоемкость расходуемого топлива, МДж/га;

$E_{люд}$ – совокупная энергия, вложенная трудовыми ресурсами при выполнении технологического процесса, МДж/га.

Энергоемкость средств механизации (трактора и косилок), приходящаяся на единицу работы, определяется по формуле:

$$E_{см} = E_{тр} + E_{кос} = (\alpha_{тр} m_{тр} + \alpha_{кос} m_{кос}) / W_{час}, \quad (5.3)$$

где $\alpha_{тр}, \alpha_{кос}$ – энергетический эквивалент средств механизации, МДж/(кг/ч);

$m_{тр}, m_{кос}$ – масса средств механизации, кг;

$W_{час}$ – часовая выработка агрегата, га/ч. $W_{час}=V_м B k_э/10$,

где B – рабочая ширина захвата, $B_1= B_2=3$ м;

$V_м$ – скорость движения агрегата, $V_{м1}= V_{м2}=7$ м/с;

$к_э$ – эксплуатационно-технологический коэффициент использования эксплуатационного времени, $к_{э1}= к_{э2}=0,7$;

Энергетический эквивалент трактора МТЗ-80 – $\alpha_{тр} = 0,016$ МДж/(кг/ч), косилок – $\alpha_{кос} = 0,115$ МДж/(кг/ч). Масса трактора МТЗ-80 – $m_{тр} = 3160$ кг, масса базового варианта косилки – $m_{кос1} = 300$кг, масса конструктивная новой косилки $m_{кос2} = 350$кг [37, 94, 141, 150].

Энергоемкость расходуемого дизельного топлива ($E_{дт}$) при выполнении технологического процесса кошения определяли по формуле МДж/га:

$$E_{дт} = H_{дт} \cdot a_{дт}, \quad (5.4)$$

где $H_{дт}$ – расход топлива, кг/га:

$$H_{дт1} = 0{,}735 \cdot 0{,}7 \cdot q \cdot N / W_{час}, \quad (5.5)$$

q – удельный расход топлива трактором при работе с агрегатом, q_1=0,238 кг/кВтч, q_2=0.253 кг/кВтч;

N – мощность трактора, N=80, л.с.;

0,735 – коэффициент перевода л.с. в кВт;

0,7 – коэффициент номинальной загрузки двигателя.

$H_{дт1}$ = 9,7 кг/га, $H_{дт2}$ = 10,41 кг/га;

$q_{дт}$ – теплосодержание топлива, $q_{дт}$= 42,7 МДж/кг;

$a_{дт}$ – энергетический эквивалент топлива, $a_{дт}$ = 42,7 МДж/кг [89].

Затраты совокупной энергии, вложенные трудовыми ресурсами при выполнении технологического процесса, определялись по формуле:

$$E_{люд} = E_{тм} + E_{то} + E_{итр}, \quad (5.6)$$

где $E_{тм}$ – затраты энергии трактористами-машинистами, Мдж/га:

$$E_{тм} = \frac{n_{мех}}{W_{час}} \alpha_{мех}, \quad (5.7)$$

$a_{мех}$ – энергетический эквивалент основных работников, $a_{мех}$ = 43,4 МДж/(чел/ч);

$n_{мех}$ – численность механизаторов, $n_{мех}$ = 1 чел.;

$E_{то}$ – затраты энергии ремонтными рабочими, Мдж/га:

$$E_{то} = t_{то} \cdot \alpha_{это}, \quad (5.8)$$

$t_{то}$ – затраты времени на техническое обслуживание составляют 23% от основного времени и определяются:

$$t_{то} = t_{тм} \cdot n_{то}, \quad (5.9)$$

$a_{это}$ – энергетический эквивалент затрат труда ремонтными рабочими, МДж/чел/ч, $a_{это}$=41,8;

$n_{то}$ – показатель времени на техническое обслуживание, равен 0,23.

$E_{итр}$ – затраты энергии инженерно-техническими работниками на управление технологическим процессом:

$$E_{итр} = a_{эитр} \cdot t_{итр}, \quad (5.10)$$

где $a_{эитр}$ – энергетический эквивалент затрат труда ИТР на управление технологическим процессом, МДж/чел/ч, $a_{эитр}$=67,0 МДж/чел-ч ;

$t_{итр}$ – затраты времени ИТР на управление технологическим процессом, ч.

Затраты времени ИТР на управление технологическим процессом определяются по формуле:

$$t_{итр} = (t_{тм} + t_{то}) \cdot П_{итр}, \quad (5.11)$$

где $П_{итр}$, – показатель затрат времени на управление технологическим процессом равен (0,12) 12% от суммы основного времени, затраченного ремонтными рабочими.

По результатам исследования определены затраты совокупной энергии при скашивании травостоя в междурядьях (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Затраты совокупной энергии при скашивании травостоя в междурядьях садов и виноградников, МДж/га

Энергозатраты на производство основных средств, МДж/га $E_{см}$		Энергозатраты дизельного топлива, МДж/га $E_{дт}$		Энергозатраты на трудовые ресурсы, МДж/га $E_{чел}$		Суммарные энергозатраты для одной операции, МДж/га $E_{вход1}$		Суммарные энергозатраты для технологии, МДж/га $E_{тех}$	
КВР-М	КИУ-2А	КВР-М	КИУ-2А	КВР-М	КИУ-2А	КВР-М	КИУ-2А	КВР-М	КИУ-2А
85,06	81,61	444,507	414,19	62,89	62,89	592,457	558,69	2369,83	3352,14

Годовая экономия энергозатрат от внедрения разработанной косилки определялась по формуле:

$$Э = (E_{тех1} - E_{тех2})W_{ce} \quad (5.7)$$

где $E_{тех}$ – приведенные затраты энергии на единицу работы, МДж/га

Wce – объём внедрения, 20 га.

Э=19646,2 МДж

Экономия невозобновляемой энергии определялась по формуле:

$$K = (1 - \frac{E_{mex2}}{E_{mex1}})100, \quad (5.8)$$

$$K = 29{,}3\%.$$

Таким образом, применение разработанной косилки позволило уменьшить энергозатраты невозобновляемой энергии на 29,3 %.

Затраты совокупной энергии на возделывание и уборку сада определяли по операциям, выполняемым в соответствии с технологической картой, они составляют 39522,52 МДж/га, в т.ч. на кошение травостоя в междурядьях – 2369,83 МДж/га, 5,99 %.

В настоящее время по ряду причин не все технологические операции по возделыванию садов и виноградников выполняются, а если выполняются, то без научного обоснования оптимизации системы средств механизации и применения агропрепаратов, использования органических удобрений, что приводит к большим энергозатратам, а, следовательно, к нарушениям экологической безопасности окружающей среды [34].

Поэтому возникла необходимость определения уровня экологичности возделывания виноградников и садов.

Уровень антропогенной нагрузки (экологичности) при выполнении технологического процесса скашивания травостоя в междурядьях садов и виноградных насаждений определяли по формуле:

$$K_{эк} = \frac{E_{mex}}{П_{эк}}, \quad (5.9)$$

где $П_{эк}$ – экологически допустимая граница энергонасыщенности технологического процесса производства плодов и винограда.

Энергетический анализ возделывания и уборки садов и виноградников показывает, что граница затрат невозобновляемой энергии, за которой последующее увеличение антропогенных нагрузок в агроэкосистемах становится опасным для экологического равновесия естественной среды и составляет свыше 20000–40000 ГДж/га за календарный год [15, 21, 31, 35, 94]. В современных условиях эти границы завышены, поэтому суммарная энергонагрузка должна

находиться в пределах 30000 ГДж/га, в т.ч. на скашивание травостоя в междурядьях – 5600 МДж/га.

$$К_{эк1}=3352,14/5600=0,59 \text{ или } 59\ \% \quad (5.10)$$

$$К_{эк2}=2369,83/5600=0,42 \text{ или } 42\ \% \quad (5.11)$$

За основной критерий энергетической оценки технологий принимают показатель энергетической эффективности – отношение энергии, содержащейся в конечном продукте, к энергии, затраченной на его производство [130]:

$$R= a_п H/ E, \quad (5.12)$$

где $a_п$ – энергетический эквивалент продукции, МДж/т, $a_п$ =2,09 МДж/т (50 ккал на 100 г [130]);

H – урожайность продукции, т/га. Средняя урожайность в 2014 г. в ООО «Сады Бахчисарая» составила 10 т/га;

E – полные энергетические затраты на выполнение технологического процесса, МДж/га.

$$R_1= 0,006;$$

$$R_2= 0,008.$$

Важным показателем сравнения новой и базовой технологий является отношение полных затрат энергии, приходящихся на 1 кг продукции [89]:

$$K=E/H, \quad (5.13)$$

где H – урожайность продукции при данном технологическом процессе, кг/га.

$$K_1=0,3683 \text{ МДж/кг};$$

$$K_2=0,2369 \text{ МДж/кг}.$$

Анализ сравнения энергетической эффективности при выполнении технологического процесса скашивания сидератов в междурядьях садов и виноградников по сравниваемым вариантам показывает, что энергетические затраты на выполнение технологического процесса базовой косилкой несколько ниже, чем у нового варианта, но с учетом работы косилки за весь период технологического цикла видна эффективность применения разработанной косилки под условной маркой КВР-М на 29,3% или на 982,31 МДж/га.

Антропогенная нагрузка кошения сидератов в междурядьях на виноградниках по сравниваемым косилкам составила 59 % и 42 % от допустимой.

Биоэнергетическая оценка, дополняя денежную оценку, вносит определенный вклад в разработку энергосберегающих технологий возделывания садов и виноградников, и рационального использования биоресурсов [34].

5.2 Технико-экономическая эффективность внедрения косилки

Для расчета экономической эффективности предлагаемого устройства были взяты: за базовый вариант – агрегат, который состоит из трактора МТЗ-80 и косилки КИУ-2А. Для выполнения операции скашивания травостоя в междурядьях садов и виноградников в предлагаемой технологии рекомендуется использовать агрегат, который состоит из трактора МТЗ-80 и косилки КВР-М.

Первым этапом определения экономической эффективности является определение эксплуатационных затрат на единицу работы. Для их определения пользуются формулой:

$$З_э = Г + Р + А + Зп, \tag{5.14}$$

где $З_э$ – эксплуатационные расходы, руб./га;

$Г$ – затраты на ГСМ, руб./га;

$Р$ – расходы на ТО, ТР и КР, руб./га;

$А$ – амортизационные отчисления, руб./га;

$Зп$ – заработная плата рабочим, руб./га.

*Р*асходы на топливо определяются по формуле:

$$Г = P_{Г\ М} \cdot \quad , \tag{5.15}$$

где $Г$ – затраты на топливо, руб./га;

$P_{ГМ}$ – расход топлива, кг/га;

– стоимость дизельного топлива в ценах на 2014 г, руб./кг.

Для базового варианта: $Г = 9{,}7 \cdot 33 = 320$ руб./га.

Для предлагаемого варианта: $Г = 10{,}41 \cdot 33 = 343{,}2$ руб./га.

Затраты на ТО, ТР и КР определяются по формуле:

$$P = \frac{Б_{т} \times 0.11}{W_{г}} + \frac{Б_{м} \times 0.065}{W_{гм}}, \qquad (5.16)$$

где P – расходы на ТО, ТР и КР, руб./га;

$Б_{т}$ – балансовая стоимость трактора, руб.;

$W_{г}$ – годовая выработка трактора, га;

0.11 – процент отчисления на ТО, ТР и КР,%;

$Б_{м}$ – балансовая стоимость машины, руб.;

$W_{гм}$ – годовая выработка машины, га;

0,065 – процент отчисления на ТО, ТР и КР,%.

Таким образом, для нового и базового вариантов:

$$P_1 = \frac{650000 \times 0{,}11}{1095} + \frac{150000 \times 0{,}065}{560} = 82{,}7 \text{ руб./га;}$$

$$P_2 = \frac{650000 \times 0{,}11}{1095} + \frac{170000 \times 0{,}065}{560} = 85{,}02 \text{ руб./га.}$$

Амортизационные отчисления определяются по формуле:

$$A = \frac{Б_{т} \times 0{,}09}{W_{г}} + \frac{Б_{м} \times 0{,}142}{W_{г}}, \qquad (5.17)$$

где А – амортизационные отчисления, руб/га;

$Б_{м}$ – балансовая стоимость трактора, руб.;

$W_{г}$ – годовая выработка трактора;

0,09 – процент отчисления на амортизацию трактора, %;

$Б_{м}$ – балансовая стоимость машины, руб.;

0,142 – процент отчисления на амортизацию машины, %;

$W_{гм}$ – годовая выработка машины, га.

Для базового и нового вариантов:

$$A_1 = \frac{650000 \times 0{,}09}{1095} + \frac{150000 \times 0{,}142}{650} = 86{,}2 \text{ руб/га;}$$

$$A_2 = \frac{650000 \times 0{,}09}{1095} + \frac{170000 \times 0{,}142}{650} = 90{,}61 \text{ руб/га.}$$

Расходы на заработную плату рабочим найдем по формуле:

$$Зп = \frac{f}{W_ч} \text{ руб./га,} \quad (5.18)$$

где f – тарифная ставка тракториста, руб./час.

$Wч$ – производительность машины за час сменного времени, га/ч.

$$Зп = \frac{100}{1{,}62} = 62.$$

Таким образом, прямые эксплуатационные расходы для базового и нового вариантов составляют:

$$Зэ_1 = 320{,}1 + 82{,}7 + 86{,}2 + 62 = 551 \text{ руб./га;}$$

$$Зэ_2 = 343{,}2 + 85{,}02 + 90{,}61 + 62 = 580{,}83 \text{ руб./га.}$$

Годовая экономия эксплуатационных затрат определяется по формуле:

$$Э_{гэ} = W_{гмп}(n_1 \cdot Зэ_1 - n_2 \cdot Зэ_2) \text{ руб.,} \quad (5.19)$$

где $Э_{гэ}$ – годовая экономия эксплуатационных расходов, руб.;

$W_{гмп}$ – годовая производственная выработка машины, га;

n – количество технологических операций за сезон.

$$Э_{гэ} = 20 \cdot (551 \cdot 6 - 580{,}83 \cdot 4) = 19653{,}6 \text{ руб.}$$

Удельные капитальные вложения определяются по формуле:

$$K = \frac{Б_{\ т} \times 0{,}07}{W_г} + \frac{Б_{\ м} \times 0{,}07}{W_{гм}}, \quad (5.20)$$

где K – удельные капитальные вложения, руб./га;

0,07 – процент отчисления, %.

Для базового и нового вариантов:

$$K_1 = \frac{650000 \times 0{,}07}{1095} + \frac{150000 \times 0{,}07}{650} = 57{,}70 \text{ руб./га;}$$

$$K_2 = \frac{650000 \times 0{,}07}{1095} + \frac{170000 \times 0{,}07}{650} = 59{,}58 \text{ руб./га}$$

Приведенные затраты находятся по формуле:

$$П = n(Зэ + 0{,}15 \times K), \quad (5.21)$$

где $П$ – приведенные затраты, руб/га;

0,15 – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

Для базового и нового вариантов:

$$П_1 = 6(551 + 0{,}15 \times 57{,}7) = 3357{,}93 \text{ руб/га}$$

$$П_2 = 4(580{,}83 + 0{,}15 \times 59{,}58) = 2359 \text{ руб/га}$$

Экономический эффект в рублях с единицы площади от изменения количества получаемой продукции при эксплуатации новой машины (за счет повышения урожайности на 8 %), при средней урожайности 100 ц/га и средней цене реализации 20 руб./кг, составит: $\Delta У = 10000 \cdot 0{,}08 \cdot 20 = 16000$ руб./га.

Экономический эффект с единицы площади от экономии средств за счет снижения количества технологических операций внесения гербицидов (с четырёх операций до одной за сезон).

$$З_{эгерб} = n_{герб}(Г_{герб} + З_{пгерб} + З_а), \quad (5.22)$$

где $З_{эгерб}$ – эксплуатационные расходы, руб./га;

$Г_{герб}$ – затраты на ГСМ, руб./га;

$З_{пгерь}$ – заработная плата рабочим руб./га;

$З_а$ – расходы на агрохимикаты, руб./га;

$n_{герб}$ – число технологических операций внесения гербицидов.

Затраты на ГСМ при обработке гербицидами определялись по формуле (5.15):

$$Г_{герб} = 8 \cdot 33 = 264 \text{ руб./га.}$$

Расходы на заработную плату рабочим определим по формуле (5.18):

$$З_{пгерб} = 100 / 2{,}5 = 40 \text{ руб./га.}$$

Затраты на приобретение агрохимикатов определялись по формуле:

$$З_а = Q \cdot C_а, \quad (5.23)$$

где Q – количество внесенных гербицидов, кг/га;

$_а$ – стоимость гербицидов, руб./кг.

$$З_а = 2{,}69 \cdot 750 = 2017{,}5 \text{ руб./га.}$$

Таким образом, экономия средств за счет снижения количества технологических операций внесения гербицидов составит:

$$З_{эгерб} = 3 \cdot (264 + 40 + 2017{,}5) = 6964{,}5 \text{ руб./га.}$$

Годовой экономический эффект от внедрения косилки для скашивания травостоя в междурядьях садов и виноградников с полной годовой загрузкой, без учета изменения количества получаемой продукции определяется по формуле:

$$Э_г = W_{гмп}\left(П_1 - П_2 + З_{эгерб}\right), \quad (5.24)$$

где $Э_г$ – годовой экономический эффект, руб./га;

$W_{гмп}$ – годовая производственная выработка машины, га.

$$Э_г = 20(3357{,}93 - 2359 + 6964{,}5) = 159268{,}6 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости одной машины определяется по формуле:

$$O = \frac{{}_м}{Э_г}, \quad (5.25)$$

где O – срок окупаемости, лет;

${}_м$ – стоимость машины, руб.

$$O = \frac{170000}{159268{,}6} = 1{,}06 \text{ года.}$$

Показатели экономической эффективности внедрения косилки для скашивания травостоя в междурядьях садов и виноградников приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Показатели экономической эффективности внедрения косилки для скашивания травостоя в междурядьях садов и виноградников

Показатели	Базовый вариант	Новый вариант	Эффект
Прямые эксплуатационные расходы, руб./га	551	580,83	-29,83
Приведенные затраты, руб./га	3357,93	2359	998,93
Удельные капвложения, руб./га	57,70	59,58	-1,87
Годовой экономический эффект, руб./га.	–	7963,43	–
Срок окупаемости, лет	–	1,06	–

Анализируя полученные показатели экономической эффективности, можно заключить, что в основном эффект достигается за счет снижения норм внесения

гербицидов, улучшения качества скашивания травостоя и, как следствие, – снижения необходимых технологических операций за сезон и изменения количества продукции при обработке садов и виноградников (приложение 6). Эта экономия дает срок окупаемости машины в 1,06 года работы при производственном объеме в 20 га и годовом экономическом эффекте 7963,43 руб./га без учета изменения количества получаемой продукции. В то же время снижается негативное влияние минеральных удобрений на окружающую среду без снижения количества и качества продукции.

5.3 Выводы по разделу

1. Энергетические затраты на выполнение технологического процесса базовой косилкой несколько ниже, чем у нового варианта, но с учетом работы косилки за весь период технологического цикла видна эффективность применения разработанной косилки под условной маркой КВР–М на 29,3% или на 982,31 МДж/га.

2. При использовании новой косилки затраты, приходящиеся на единицу продукции, снижаются на 29,74 %.

3. Антропогенная нагрузка кошения сидератов в междурядьях на виноградниках по сравниваемым косилкам составила 59 % и 42 % от допустимой.

4. Экономический эффект от внедрения новой машины составляет 7963,43 руб./га, срок окупаемости машины 1,06 года работы при производственном объеме 20 га. В то же время снижается негативное влияние от гербицидов и минеральных удобрений на окружающую среду без снижения количества и качества урожая.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1.Сравнительный анализ существующих теорий, результатов исследований показали существенные различия в обосновании параметров и режимов работы ротационного режущего аппарата. Теоретические исследования и конструкция режущего аппарата косилки требуют уточнений и усовершенствования с учетом воздушного потока, создаваемого ножами ротора.

2. Лопасти на ножах косилки образуют при вращении ротора воздушный поток внутри кожуха косилки, что способствует улучшению качества скашивания травы: восходящие потоки воздуха за вращающейся лопастью поднимают полегшую траву и втягивают ее стебли в проточную часть косилки, а нисходящие потоки перед лопастью прижимают стебли к поверхности набегающего на них ножа.

3. Форма установленных лопастей оказывает существенное влияние на характер воздушных потоков, дальность вылета массы из кожуха косилки. На основании проведенного теоретического исследования движения частицы по лопасти, влияния воздушного потока на полет частицы, расчета конструктивных параметров лопастей, установленных на ножах, определены конструктивные параметры рабочих органов косилки.

4. Экспериментально подтверждено, что наличие лопастей на ножах рабочего органа косилки и кожуха в форме улитки позволяет перемещать скошенную в междурядьях траву в приствольные полосы. Для достижения наибольшей дальности отбрасывания скошенной массы углы кривизны лопастей должны принимать значения α_1=43°, α_2=11°, высота h=0,035 м, радиус кривизны R=0,183 м, радиус окружности центров лопастей R_0=0,54 м.

5. Производственная проверка опытного образца косилки показала его работоспособность и качественное выполнение технологического процесса. Отмечено, что при скорости движения агрегата до 7 км/ч рабочие органы косилки обеспечивают на высоте среза 0,08 м и полноту скашивания не менее 97 %.

Скошенная масса перемещается в приствольную полосу и равномерно распределяется.

6. Энергетический анализ показал эффективность применения разработанной косилки под условной маркой КВР-М по сравнению с КИУ-2А на 29,3% или на 982,31 МДж/га. При использовании новой косилки затраты, приходящиеся на единицу продукции, снижаются на 29,74 %.

7. Экономический эффект от внедрения новой машины составляет 7963,43 руб./га, срок окупаемости машины – 1,06 года при производственном объеме 20 га.

Рекомендации производству.

В сельскохозяйственных предприятиях, применяющих интенсивную энергосберегающую и экологически безопасную технологию возделывания садов и виноградников, а также внедряющих биодинамическое направление производства плодов и винограда рекомендуется использовать разработанную косилку с целью повышения эксплуатационно-технологических показателей и снижения антропогенной нагрузки на культурные насаждения.

Разработанный рабочий орган и кожух косилки могут быть использованы конструкторскими организациями при создании косилок для скашивания травостоя в междурядьях садов и виноградников.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абрамович, Г.Н. Прикладная газовая динамика. Учебное руководство для втузов / Г.Н. Абрамович. – 5–е изд., перераб. и доп. – М. : Наука Гл. ред. физ.–мат. лит., 1991. – 304 с.

2. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер и др. – М. : Наука, 1971. – 283 с.

3. Алиев, Т.Г.–Г. Агробиологическое обоснование применения гербицидов в плодовых и ягодных насаждениях : автореферат дис. ... доктора с.х. наук : 06.01.07, 06.01.11 / Алиев Таймасхан Гасан–Гусейнович. – Мичуринск–наукоград, 2007. – 47 с.

4. Алиев, Т.Г.–Г. Влияние мульчирования на рост и развитие корневой системы яблони / Т.Г.–Г. Алиев, Г.Н. Пугачев // Повышение эффективности садоводства в современных условиях : Материалы всероссийской научно–практической конференции 22–24 декабря 2003 г. – Мичуринск, 2003. – С. 60–66.

5. Алиев, Т.Г.–Г. Результаты изучения перспективных систем содержания почвы в интенсивных садах семечковых культур / Т.Г.–Г. Алиев, А.А. Соломахин, М.В. Придорогин и др. // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – №2. – С. 24–26.

6. Аниферов, Ф.Е. Машины для садоводства / Ф.Е. Аниферов, Л.И. Ерошенко, И.З. Теплинский. – Л. : Агропромиздат, 1990. – 304 с.

7. Бабицкий, Л.Ф. Основы научных исследований / Л.Ф. Бабицкий, В.М. Булгаков, Д.Г. Войтюк, В.И. Рябец. – К. : НАУ, 1999. – 204 с.

8. Батурин, О.В. Расчет течений жидкостей и газов с помощью универсального программного комплекса Fluent. Учеб. пособие / О.В. Батурин, Н.В. Батурин, В.Н. Матвеев. – Самара : Изд–во Самар. гос. аэрокосм. ун–та, 2009. – 151с.

9. Бать, М.И. Теоретическая механика в примерах и задачах, т. 2 (динамика) / М.И. Бать, Г.Ю. Джанелидзе, А.С. Кельзон. – М.: Наука, 1972. – 642 с.

10. Безуглова, О.С. Удобрения и стимуляторы роста. Теория и практика применения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://eco-soil.ru/.

11. Босой, Е.С. Режущие аппараты уборочных машин / Босой Е.С. – М. : Машиностроение, 1967 – 167 с.

12. Быстров, А.С. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценка экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды / А.С. Быстров, В.В. Варанкин, М.А. Виленский и др. – М. : Экономика, 1986. – 95 с.

13. Будаговский, В.И. Культура слаборослых плодовых деревьев / В.И. Будаговский – М. : Колос, 1976. – 303 с.

14. Бычков, В.В. Энерго– и ресурсосберегающие машины для садоводства / В.В. Бычков, А.А. Цымбал // Садоводство и виноградарство. — 2000. – №5–6. – С. 15–17.

15. Вавельский, М.М. Защита окружающей среды от химических выбросов промышленных предприятий / М.М. Вавельский, Ю.М. Чебан. – Кишинев : Штиинца, 1990. – 201 с.

16. Варквасова, М.А. Влияние регулирования травянистого покрова на плодородие галечниковых почв. Молодые ученые садоводству России / М.А. Варквасова // Тезисы докладов Всероссийского совещания. – Москва, 1995. – С. 192–194.

17. Василенко, И.Ф. Теория режущих аппаратов жатвенных машин / И.Ф. Василенко // Труды ВИСХОМ. – М. : 1937. – №5, с. 7–14.

18. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: учеб. пособие для вузов / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М. : Академия, 2003. – 464 с.

19. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей : учебник для вузов / Е.С. Вентцель. – М. : Высшая школа, 1998. – 576 с. 131.

20. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. – М. : Колос, 1973. – 320 с.

21. Воробьева, Т.Н. Оценка экологического риска применения пестицидов в виноградарстве / Т.Н. Воробьева, Г.А. Ломакина. – Краснодар : ООО «Просвещение–ЮГ», 2006. – 194 с.

22. Горшенин, В.И. Анализ систем содержания почвы в садах / В.И. Горшенин, А.В. Алехин // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2006. – №2. – С. 181–183.

23. Горячкин, В.П. Собрание сочинений / В.П. Горячкин. – М. : Колос, 1968. – 384 с. Том третий. Изд. 2–е.

24. Горячкин, В.П. Собрание сочинений в семи томах / В.П. Горячкин, под ред. Н.Д. Лучинского, В.А. Желиговского, И.Ф. Василенко. – М. : Сельхозиздат, 1937.

25. ГОСТ 5976-90 Вентиляторы радиальные общего назначения. Общие технические условия. – М. : Издательство стандартов, 2000. – 24 с.

26. ГОСТ 23728–88 Техника сельскохозяйственная. Основные положения и показатели экономической оценки. – М. : Издательство стандартов, 1988. – 3 с.

27. ГОСТ 23730–88 Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки универсальных машин и технологических комплексов. – М. : Издательство стандартов, 1988. – 8 с.

28. ГОСТ 52777–2007 Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки. – М. : Издательство стандартинформ, 2007. – 7 с.

29. Гусейнов, Ш.Н., Чигрик Б.В., Нагиев З.С. Продуктивность интенсивных виноградников на Тамани. / Ш.Н. Гусейнов, Б.В. Чигрик, З.С. Нагиев // Материалы научно–практической конференции. Новочеркасск. – 2006. – С. 86–89.

30. Гутьяр, Е.М. К теории срезания стеблей / Е.М. Гутьяр // Сельхозмашина. – 1931. – №7. – С. 12–13.

31. Дайнов, М.И. Оценка затрат на защиту атмосферы и очистку сточных вод от промышленных выбросов : учебное пособие для студентов вузов / М.И. Дайнов, Н. С. Кудрявцева. – М. : Изд–во МАИ, 2003. – 95 с.

32. Дацишин, А.В. Исследование зависимостей между нормальными, касательными и общими усилиями резания : Труды УСХА / А.В. Дацишин // Киев, 1979. – 91–94 с.

33. Джонсон, Н.Л. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных / Джонсон Н.Л., Лион Ф.С. – М. : Мир, 1980. – 510 с.

34. Догода, А.П. Технико–экологическая и экономическая оценка эффективности внедрения опрыскивателя камерного (туннельного типа) виноградного / А.П. Догода // Наукові праці Південного філіалу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Кримський агротехнологічний університет». – Випуск 150. – Сімферополь, 2012. – 196 с.

35. Догода, П. А. Методы биоэнергетического системного анализа / П.А. Догода // Сборник научных трудов КГАУ. – Симферополь, 2000. – Вып. №65. – С. 212–222.

36. Догода, П.А. Эффективность внедрения энергосберегающей технологии применения средств защиты растений / П.А. Догода, Е.Я. Павленко, В.Л. Сорока, Н.П. Догода, А.П. Догода // Теоретичний і науково–практичний журнал інженерної академії України. Вісник інженерної академії України. – Київ, 2005. – Вип. 2. – С. 110–115.

37. Догода, П.А. Определение удельных совокупных затрат антропогенной энергии на производство винограда / П. А. Догода // Труды Крымской академии наук. – Симферополь : Таврия, 1998. – С. 69–79.

38. Долгов, И.А. Механизация сеноуборочных работ / И.А. Долгов и др. // ЦИНТИМАШ, 1962. – С. 20–25.

39. Егорова, Т.И. Исследование влияния параметров режущего инструмента на процесс резания лезвием : автореф. дис... канд. техн. наук. –М., 1949. – 22 с.

40. Еремин, Г.В. Рекомендации по восстановлению подмерзших насаждений и созданию зимостойких садов в Краснодарском крае / Г.В. Еремин. – Краснодар, 1996. – С. 38–40.

41. Желиговский, В.А. Экспериментальная теория резания лезвием / В.А. Желиговский // Труды МИМЭСХ. – М., 1940. – Вып. 9. – 27 с.

42. Журавлёва, Н.В. Методическая разработка по биологии по теме: методическая разработка классного часа "Полезные свойства горчичного масла" [Электронный ресурс] / Н.В. Журавлёва // Социальная сеть работников образования. – Волгоград, 2013. – Режим доступа : http://nsportal.ru/natalya–zhuravlyova

43. Завалишин, Ф.С. Методы исследований по механизации сельскохозяйственного производства / Ф.С. Завалишин, М.Г. Мацнев. – М. : Колос, 1982. – 231 с.

44. Завражнов, А.И. Комплекс машин для маточников вегетативно размножаемых подвоев и интенсивного сада / А.И. Завражнов, К.А. Манаенков, В.Ю. Ланцев, В.В. Хатунцев, В.Г. Бросалин, М.И. Меркулов // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – №1. – С. 49–52.

45. Завражнов, А.И. Энергосберегающая технология и комплекс машин для обработки почвы в интенсивных слаборослых садах : учебное пособие / А.И. Завражнов, К.А. Манаснков. – Мичуринск, 2002. – 105 с.

46. Зажигаев, А.С. Методика планирования и обработки результатов физического эксперимента / Зажигаев А.С. – М.: Атомиздат, 1978. – 232 с.

47. Заявка РФ на патент №2017112113. Роторная косилка для скашивания травостоя в междурядьях многолетних насаждений / В.В. Красовский, П.А. Догода, С.С. Воложанинов, А.П. Догода // ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского». – Заявл. 10.04.2017. Решение о выдаче патента от 20.06.2017.

48. Зедгинидзе, И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / И.Г. Зедгинидзе. – М. : Наука, 1976. – 390 с.

49. Зинченко М.П. Скоростной режущий аппарат / М.П. Зинченко // Труды ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1968. – Вып. 35. – 230 с.

50. Ивашко, А.А. Вопросы теории резания органических материалов лезвием / А.А. Ивашко // Тракторы и сельхозмашины. – 1958. – № 2. – С. 34–37.

51. Ишлинский, А.Ю. Задача о скорости косьбы злаков / А.Ю. Ишлинский // Сельхозмашина. – 1937. – №5–6. – С. 8–12.

52. Каифаш, Ф. Обоснование динамических параметров и режима работы ротационного режущего аппарата : дис. ... канд. техн.наук. / Каифаш Ференц. – М., 1982. – 158 с.

53. Карпенко, М.И. Обоснование оптимальных технологических параметров ротационного режущего аппарата косилок с пониженной скоростью ножей : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Карпенко Михаил Иванович. – Глеваха, 1984. – 17 с.

54. Клецкин, М.И. Справочник конструктора сельскохозяйственной техники / под ред. М.И. Клецкина. – М.: Машиностроение, 1968. – 744 с. – 3 т.

55. Колесников В.Л. Плодоводство / В.А. Колесников. – М.: – Колос, 1979. – 415 с.

56. Компания ООО "ЮГПОЛИВ". Официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://yug–poliv.ru/stati/technologygrow/osnov–element–vyraschiv–apple.

57. Корнилович, Р.А. Совершенствование режущего аппарата ротационной косилки : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Корнилович Руслан Александрович. – Рязань, 2007. – 153 с.

58. Корпачева, И. Д. Организация и планирование работ по защите сельскохозяйственных растений / Д.К. Изабелла. – 2–е изд., перераб. и доп. –М. : Агропромиздат, 1986. – 287 с.

59. Красноступ, С.М. Исследование кинематики режущего аппарата косилок с гидравлическим приводом : автореф. дисс. ... канд. техн. наук 05.20.01 / С.М. Красноступ. – Ростов–на–Дону, 1965. – 23 с.

60. Красовский, В.В. Анализ существующих теорий работы ротационного режущего аппарата косилки для скашивания сидератов в междурядьях многолетних насаждений / В.В. Красовский, П.А. Догода // Научные труды ЮФ НУБиПУ «КАТУ». – Симферополь, 2013. – Вып. 153. – С. 164–175.

61. Красовский, В.В. Методика проведения и результаты экспериментов по определению качества кошения сидератов в междурядьях многолетних насаждений ротационной косилкой с усовершенствованным рабочим органом / В.В. Красовский // Научные труды ЮФ НУБиПУ «КАТУ». – Симферополь, 2014. – Вып. 163. – С. 152–156.

62. Красовский, В.В. Методика проведения многофакторного эксперимента при исследовании работы косилки для ухода за междурядьями многолетних насаждений / В.В. Красовский // Проблемы развития АПК региона. – Махачкала, 2016. – Вып. 1-1 (25). – С.163–167.

63. Красовский, В.В. Обоснование параметров и режимов работы косилки для скашивания сидератов в междурядьях многолетних насаждений / В.В. Красовский // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – Оренбург, 2015. – Вып. 6 (56). – С.79–81.

64. Кремер, Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник для вузов / Н.Ш. Кремер. – М. : ЮНИТИДАНА, 2004. – 573 с.

65. Кузьменко, В.В. Взаимосвязь экономической и энергетической опенок эффективности производства / В. В. Кузьменко, Е. Г. Степанова // Сборник научных трудов. Серия "Экономика". Северокавказский государственный технический университет. – Ставрополь, 2002. – Вып. 5 – С. 56–62.

66. Курант, Р. Курс дифференциального и интегрального исчисления / Р. Курант. – 2–е изд., перераб. и доп. – М. : Наука, 1967. – 705 с. 1 т.

67. Куренной, Н.М. Основы интенсивного плодоводства / Н.М. Куренной. – М. : Колос, 1980. –191 с.

68. Куренной, Н.М. Плодоводство / Н.М. Куренной, В.Ф. Колтунов, В.И. Черепахин. – М. : Агропромиздат, 1985. – 399 с.

69. Лигидов, Р.П. Технология плющения растительности на корню в междурядьях садов, параметры и режимы работы плющильного агрегата (Для горного и предгорного садоводства) : дисс. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Лигидов Рашид Патович. – Нальчик, 2004. – 136 с.

70. Ланцев, В.Ю. Совершенствование технологии утилизации отходов обрезки в слаборослых садах с обоснованием параметров измельчителя. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Мичуринск–наукоград 2004 с. 187.

71. Майдсбура, Н.И. Система содержания почвы и урожайность яблони / Н.И. Майдсбура, Н.И. Беляк, Н.В. Козак // Ж–л "Садоводство и виноградарство". – Л. : Наука, 1988. – №5. – С. 10.

72. Макаров, О.В. Исследование дискового измельчающего аппарата с прямолинейными ножами силосоуборочного комбайна : автореф. дис. ... канд. техн. наук. : 05.20.01 / Макаров О.В. – Харьков, 1969. – 32 с.

73. Макаренко, В.А. Исследование и обоснование технологического процесса и рабочего органа для скашивания травы в задерненных садах : дис. ... канд. техн. / В.А. Макаренко. – М.: 1972. – 191 с.

74. Манаенков, К.А. Защитная зона рядов яблонь при обработке почвы в интенсивных садах / К.А. Манаенков // Садоводство и виноградарство. – 2000. – № 3. – С. 7–8.

75. Манаенков, К.А. Обоснование работоспособности косилки для интенсивного садоводства / К.А. Манаенков, В.В. Хатунцев // Повышение эффективности садоводства в современных условиях: Материалы всероссийской науч.–практич. конф. (22—24 декабря 2003 г.) / Мичуринский гос. аграрн. ун–т. – Мичуринск : Изд–во МичГАУ, 2004. – т.3 – С. 153–157.

76. Манаенков, К.А. Состояние и перспективы разработки устройств для скашивания сидератов в слаборослых / К.А. Манаенков, В.В. Хатунцев // Инженерное обеспечение АПК : Материалы науч.–практич. конф. (23–24 октября 2003 г.) / Мичуринский гос. аграрн. ун–т. – Мичуринск : Изд–во МичГАУ, 2004. – С. 56–60.

77. Маслов, С.П. Влияние систем содержания почвы и доз азотных удобрений на рост и урожайность деревьев яблони / С.П. Маслов, К.Н. Руденко // Селекция, сортоизучение, агротехника плодовых и ягодных культур. – Орловское отделение приок. кн. изд–во. Орел, 1982. – С. 71–76.

78. Машины для механизации работ в садоводстве. Каталог техники. –М. : Отдел механизации ГНУ ВСТИСП Россельхозакадемии, 2008. – С.5–6.

79. Машины и оборудование для заготовки сена и кормов : Сборник докладов семинара, организованного В/О "Союзсельхозтехника" и американской фирмой «Дир энд Компани». – М., 1977. – С. 151–161.

80. Медведовський, О. К. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільському господарстві / О.К. Медведовський, П.І. Іваненко. – К. : Урожай, 1988. – 114 с.

81. Мельников, С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм / С.В. Мельников. – Л. : Колос, 1983.–192 с.

82. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – Л. : Колос, 1980. – 168 с.

83. Моя библиотека [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.liveinternet.ru/users/tatiana_36/post319157752.

84. Надежное кошение с EasyCut / АгроСнабФорум. День российского поля – 2007. – Краснодар : ККМОО «Кубанская молодежная лига», 2007. – С. 42–43.

85. Налимов, В.В. Статистические методы планирования экспериментальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М. : Наука, 1965. – 340 с.

86. Налимов, В.В. Теория эксперимента / В.В. Налимов. – М. : Наука, 1971. – 307 с.

87. Насталенко, П.И. Влияние дерново–перегнойной системы содержания почвы на рост, урожайность и товарные качества плодов яблони / П.И. Насталенко // – Ж–л «Садоводство, виноградарство и виноделие Молдавии», 1990. – №1. – С. 23–25.

88. Новая техника для агропромышленного комплекса. Справочник. –М. : Агроиромиздат, 1994.

89. Никифоров, А.Н. Методика энергетического анализа технологических процессов в сельскохозяйственном производстве / А.Н. Никифоров, В.А. Токарев, В.А. Борзенков и др. – М. : ВИМ, 1995. – 95 с.

90. Николюхин, Б.Е. Повышение работоспособности привода ротационных косилок : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Б.Е. Николюхин. – Ростов–на–Дону, 1993. – 163 с.

91. Новиков, Ю.Ф. Теория и расчет ротационного режущего аппарата с рубящими рабочими органами / Ю.Ф. Новиков. –М. : Сельхозмашина, 1957. – №8. С. 1–8.

92. Окороков, И.Ф. Режущий аппарат для скоростных жаток / И.Ф. Окороков // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1966. – №6 – С. 12–16.

93. Особов, В.И. Сеноуборочные машины и комплексы / В.И.Особов, Г.К. Васильев // М. : Машиностроение, 1983. – 304 с.

94. Пастухов, В.І. Енергетична оцінка механізованих технологій рослинництва / В.І. Пастухов. – Харків : Ранок–НТ, 2003. – 100 с.

95. Пат. 156862 Российская Федерация A01D34/84, A01D43/08. Роторная косилка–измельчитель / В.В. Красовский, П.А. Догода, Ю.В. Самсонов // ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского». – Заявл. 15.06.2015. Опубл. 20.11.2015. Бюлл. № 32.

96. Пат. 2515689 Российская Федерация A01B79/02, A01B39/16. Система содержания междурядий виноградников / М.А. Чупанов, М.–Р.А. Казиев, М.М. Аличаев / / Государственное научное учреждение Дагестанский научно–исследовательский институт сельского хозяйства Россельхозакадемии. – Заявл. 28.09.2012. Опубл. 20.05.2014.

97. Погорелец, А.Н. Технологические и технические основы совершенствования ротационного режущего аппарата уборочных машин : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.Н. Погорелец. – Киев, 1975, 31 с.

98. Попов, А.С. Влияние обрезки и систем содержания почни и саду на урожай, качество и лежкоспособность яблок / А.С. Попов, Н.Д. Щекотов //

Технология, механизация и организация интенсивного садоводства: Сб. науч. тр. ПНИИС им. И П. Мичурина. – Мичуринск, 1985. – С. 10–13.

99. Попов, В. Б. Анализ технологического процесса кошения растений ротационными Режущими аппаратами. / В.Б. Попов, П.Е. Голушко, А.А. Иванов, В.П. Чаус // вестник ГГТУ им. П. О. Сухого № 4 □2009г. республика Беларусь.

100. Потапов, В.А. Развитие слаборослого садоводства в России, основные направления исследований, перспективы интенсификации производства плодов / В.А. Потапов // Интенсивное садоводство. Материалы науч.–практ. конф. – Мичуринск, 2000. – С. 16–20.

101. Придорогин, М.В. Концепция залужения почвы в молодых плодовых садах, способы ее осуществления и оценка эффективности: Практические рекомендации / М.В. Придорогин, В.К. Придорогин. Тамбов: Изд-во ТГУ им. Г.Р. Державина, 2005. – 385 с.

102. Резк, Махмуд Ехиа Эль Саед. Экологическое обоснование применения сидератов под зернофуражные культуры на орошаемых землях дельты Волги : дис. ... канд. с.–х. наук : 06.01.09 / Резк Махмуд Ехиа Эль Саед. – Астрахань, 2004. 114 с.

103. Резник, Н.Е. Кормоуборочные комбайны / Н.Е. Резник. – М. : Машиностроение, 1980. – 375 с.

104. Резник, Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов / Н.Е. Резник. – М. : Машиностроение, 1975. – 311 с.

105. Розинцев, В.Д. Зависимость между скользящим перемещением ножа и действительным углом резания / В.Д. Розинцев // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1966. – № 3. – С. 47–48.

106. Рубин, С.С. Системы содержания почвы в садах / С.С.Рубин // Садоводство, виноградарство и виноделие Молдавии. – 1984. – №4. – С.6–11.

107. Рустамов, С.И. Анализ силового взаимодействия лезвия со стеблем в процессе резания сельскохозяйственных культур / С.И. Рустамов. – Доклады ВАСХНИЛ, 1979. – № 9. – С. 36–39.

108. Рыкалин, Ф.Н. Оптимизация технологии производства яблок при орошении в среднем поволжье : дисс. ... д-ра. с.-х. наук : 06.01.01 / Рыкалин Федор Николаевич. – Кинель, 2011. – 449 с.

109. Сальников, С.В. Ротационная косилка для технологий залуженного содержания междурядий в многолетних насаждениях : дис. ... канд. с.-х. наук. : 05.20.01 / Сальников Сергей Викторович. – М., 2000. – 94 с.

110. Сальников,С.В. Сотрудничество производства и науки при современном состоянии садоводства / С.В. Сальников. – Техн. прогресс в садоводстве». – М. : ВСТИСП, 1997.

111. Серпуховитина, К.А. Справочник виноградаря Кубани / К.А. Серпуховитина, Л.И. Левченко, Л.Т. Коханова. – Краснодар: Краснодарское книжное издательство, 1981. – 189 с.

112. Сизов, О.А. К вопросу определения удельной работы резания лезвием: Доклады МИИСП им.В.П.Горячкина / О.А. Сизов // М., 1970. – т.5, вып. 1–1. – С. 229–233.

113. Сироткина, Н.А. Рациональные способы ведения интенсивных виноградников в условиях Нижнего Придонья : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.07 / Сироткина Надежда Александровна // Новочеркасск, 2003. – 154 с.

114. Смирнов, К.В. Виноградарство : учебник для студентов высших учебных заведений по специальности «Плодоовощеводство и виноградарство» [Электронный ресурс] / К.В. Смирнов, Т.И. Калмыкова, Г.С. Морозова. – Режим доступа: http://vinograd.info/info/vinogradarstvo.

115. Соломахнн, А.А. Результаты применения технологии мульчирования приствольной полосы в интенсивном саду яблони / А.А. Соломахин, Т.Г.–Г. Алиев // Повышение эффективности садоводства в современных условиях: Матер. всероссийской научно–практ. конференции 22–24 декабря 2003 г., МичГАУ. – Мичуринск, 2003. – С. 244–250. 1 т.

116. Соломахнн, А.А. Экологический способ борьбы с сорной растительностью в приствольной полосе слаборослого сада яблони / А.А.

Соломахин, Т.Г.–Г. Алиев, С.Б. Сафронов // Матер. Молодежного форума «Агробиотехнологии и экологическое земледелие», 13–16 апреля. –Владимир: Грин–Пикъ, 2005. – С. 95–98.

117. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин: в 2 т. / ред. Красниченко, А.В. – М.: Государственное научно–техническое издательство машиностроительной литературы, 1961. – 2 т.

118. Справочные таблицы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:www.mcvita.ru/know/table.html.

119. Судакова, Л. Живые удобрения [Электронный ресурс] / Л. Судакова. – Режим доступа: http://www.konsad.ru/article/zhivoe–udobrenie.

120. Сулейманов, И.С. К определению оптимальной скорости вращения рабочих органов стеблеизмельчительного аппарата / И.С. Сулейманов, А.М. Карланов // Ж–л «Тракторы и сельхозмашины», 1968. – №1. – С. 39–41.

121. Сюи, Л.С. Безопасность при эксплуатации роторных косилок / Л.С. Сюи, В.В. Андросов и др. // Труды Моск. Гидромелиоративного ин–та. М. : 1981. – №70. – С. 104–108.

122. Трояновский, Б. М. Паровые и газовые турбины атомных электростанций : учебное пособие для вузов / Б. М. Трояновский, Г. А. Филиппов, А. Е. Булкин. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 256 с.

123. Трунов, Ю.В. Проблемы и перспективы развития промышленного садоводства в средней полосе России / Ю.В. Трунов // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – №2. – С. 8–10.

124. Трунов, Ю.В. Технология закладки и возделывания интенсивных яблоневых садов на слаборослых подвоях в средней зоне садоводства РФ (рекомендации) / Ю.В. Трунов // Мичуринск : Изд–во МичГАУ, 2007. – 127 с.

125. Турбин, Б.Г. Сельскохозяйственные машины. Теория и технологический расчет / Б.Г. Турбин и др. – Ленинград : Машиностроение, 1987. – 578 с.

126. Турбин, Б.Г. Вентиляторы сельскохозяйственных машин / Б.Г. Турбин. – Ленинград : Машиностроение, 1968. – 160 с.

127. Угланов, М.Б. Исследование и обоснование параметров рабочего органа ботвоуборочной машины : дис. ... канд. техн. наук. : 05.20.01 / М.Б. Угланов. – Рязань, 1966 г. – 165 с.

128. Фомин, В.И. Исследование бесподпорного среза трав / В.И. Фомин // Труды ВИСХОМ. – М., 1962. – вып. 39. – С. 3–56.

129. Фомин, В.И. Обоснование параметров косилочного режущего аппарата сегментно–дискового типа : автореф. дис. ... канд. техн. наук. : 05.20.01 / В.И. Фомин. – Ростов–на–Дону, 1963. – 22 с.

130. Хатунцев, В.В. Технология и косилка для мульчирования приствольных полос в интенсивных садах : дис. ... канд. техн. наук. : 05.20.01 / Хатунцев Владимир Владимирович. – Мичуринск, 2009. – 161с.

131. Хачатурян, Р.П. Эффективность новой техники и технологии в виноградарстве и перерабатывающей промышленности / Р.П. Хачатурян. – Кишинев : Картя Молдовеняскэ, 1986. – 240 с.

132. Хине, Ч. Основные принципы планирования эксперимента / Ч. Хине. – М. : Мир, 1967. – 206 с.

133. Холщевников, К.В. Теория и расчет авиационных лопаточных машин / К.В. Холщевников. – М. : Машиностроение. – 1970. – 614 с.

134. Цымбал, А.А. Роторная садовая косилка / А.А. Цымбал, С.В. Сальников, А.В. Драный // Сборник научных трудов «Плодоводство и ягодоводство России». – М. : ВСТИСП, 1996. – С. 222–224.

135. Швец, Д.С. Исследование процесса резания слоя стеблей сельскохозяйственных культур и обоснование необходимости режущего аппарата в кормодробилках : автореф. дис. ... канд. техн. наук. : 05.05.11 / Д.С. Швец. – Киев, 1968. – 28 с.

136. Штомпель, Б.Н. Исследование технологического процесса кошения трав ротационными косилками / Б.Н. Штомпель. – Минск : Академия сельскохозяйственных наук БССР, 1961. – 158 с.

137. Banno, T. Studies on the gutting energy of the rotary mover / T. Banno, T. Ogawa // On the quantative measurement at the Cutting Power. – J. Soc. Agr. Mach. – Japan, 1979. – N4. – 524 p.

138. Chancellov, W.I. Energy Requirement for Cutting Forage / W.I. Chancellov // Agric. Engng. – 1958. – №39. – P. 633–643.

139. Cirkelmaaier–nieuws : De Fruitteelt. – 1964. – №3. – 79 p.

140. Een nieuw type cirkelmaaier : De Fruitteelt. – 1963. – №2. – P. 48–49.

141. Fate of pesticides and chemicals in the environment / Ed. by J.L. Selmoor. – New York etc. : Wiley, Cop., 1992. – 436 p.

142. Feller, R. Effects of knife angles and Velosities on the cutting of stoles without a caunter / R. Feller. – Edge. «I. Agric. Engn. Res.», 1959. – №4. – P. 277–285.

143. Ferree, D.C. Apples: Botany, Production and Uses / D.C. Ferree. – Warrington I. CABI Publishing. – 2003. – 672 p.

144. FLUENT 6.2 User's Guide [Электронный ресурс] / FLUENT. – Режим доступа: http://sydney.edu.au /engineering /aeromech /AMME5202/ documents/manuals/fluent_help/html/ug/main_pre.htm.

145. http://www.vanwameI.nl/cirkelmRF [Электронный ресурс].

146. http://www. vanwamel.nl/cirkelmRN [Электронный ресурс].

147. Mc Randal, D.M. Mechanical and physical properties of grasses / D.M. Mc Randal, P.B. Mc Nalty. – Trans. Asae. – 1980. – №4. – 816 p.

148. Mc Randal, D.M. Elpakt cutting behavior of forage crops / D.M. Mc Randal, P.B. Mc Nalty // I. of agric. engng. res. – 1978. – №3. – P. 313–338.

149. O'Dogherty, M.I. A review of research on forage chopping / M.I. O'Dogherty // I. of agrie, engng. res. – 1982. – №27. – P. 268–289.

150. Pesticides: Minimizing the Risks / Eds. N.N. Ragsdale, R.J. Kuhf. – Washington, DC : ACS Symposium. Series 336. American Chemical Society, 1987. – 183 p.

151. Prince, R.P. Compact Gutting of alfalfa / R.P. Prince. – University of Connecticut, Storrs, Agric, Stn. Res. Rep. – №5. – 1966.

152. Reiners, E. Der Mechanizmus der Prallzekleinerung beim geraden, zentralen Stoss und die Anwendung dieser / E. Reiners. – Beanspruehungs art bei der Zerkleinerung ins besondere, bei der selektiven Zerkleinerung von spröden Stoffen. – Köln und Opladen, 1962. – 64 s.

153. Vogt, C. Mahnwerke furjeden einsatzzwek. Messer. Ialken oder Schlicbe / C. Vogt // Landmasch. – Fachbetr, 1980. – v.32. – №3. – S. 69–71.

154. Votex–Heca cirkeImaaiers / De Fruitteelt. – 1965. – №22. – 739 p.

155. Weca. Cirkelmaaiers / De Fruitteelt. – 1962. – №22. – 723 p.

156. Week, M. Bestimmung von Gctricbevcrfonnungen und Flankenrichtungs Korrckturen mehrstufigen Zahnradgetriebe / M. Week, P.Gold, J. Goebbclet // Forschungsber. LandesNordrhein. – West fallen,1987. – N2687. – 51 s.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 157023

РОТОРНАЯ КОСИЛКА-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬ

Патентообладатель(ли): ***Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского" (RU)***

Автор(ы): ***см. на обороте***

Заявка № **2015122969**

Приоритет полезной модели **15 июня 2015 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации ***28 октября 2015 г.***

Срок действия патента истекает **15 июня 2025 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

Продолжение приложения 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ

К ПАТЕНТУ НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 157023

Изменение сведений об авторе(ах)

Автор(ы): ***Красовский Виталий Викторович (RU); Догода Петр Ануфриевич (RU); Самсонов Юрий Викторович (RU)***

Запись внесена в Государственный реестр полезных моделей Российской Федерации ***21 ноября 2016 г.***

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

Приложение 2

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 173262

Роторная косилка для скашивания травостоя в междурядьях многолетних насаждений

Патентообладатель: ***Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского" (RU)***

Авторы: ***Догода Петр Ануфриевич (RU), Красовский Виталий Викторович (RU), Воложанинов Сергей Сергеевич (RU), Догода Александр Петрович (RU)***

Заявка № **2017112113**
Приоритет полезной модели **10 апреля 2017 г.**
Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации **21 августа 2017 г.**
Срок действия исключительного права на полезную модель истекает **10 апреля 2027 г.**

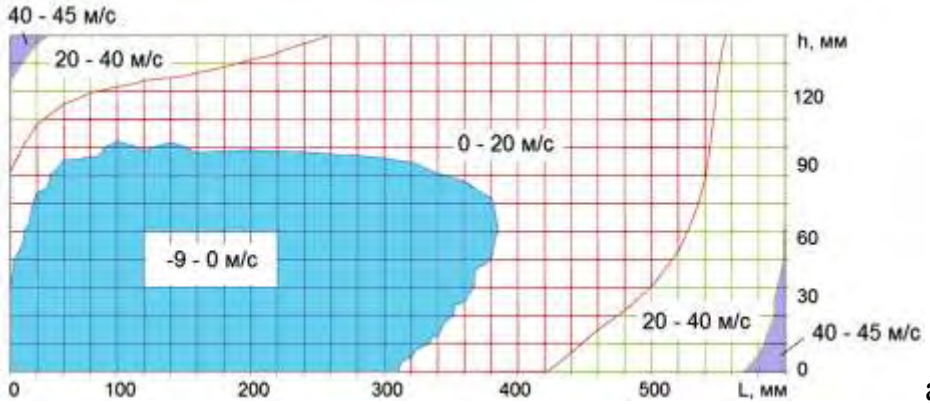
Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

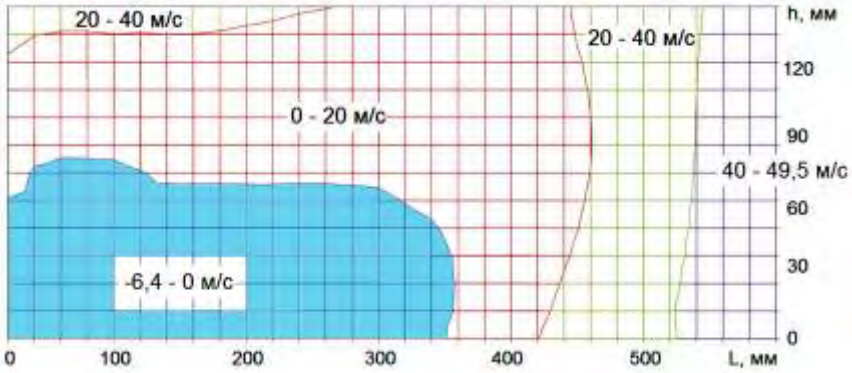
Приложение 3

Дополнительные иллюстрации к исследованию характера течения воздуха внутри кожуха косилки.

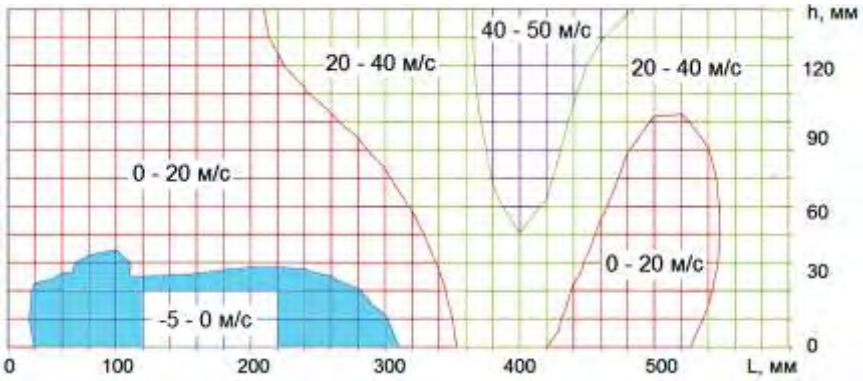
Диаграммы значений скорости в сечении выхода косилки



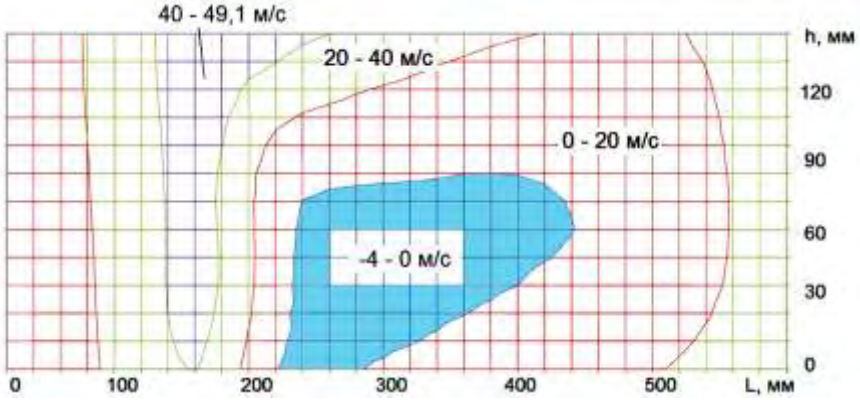
а)



б)



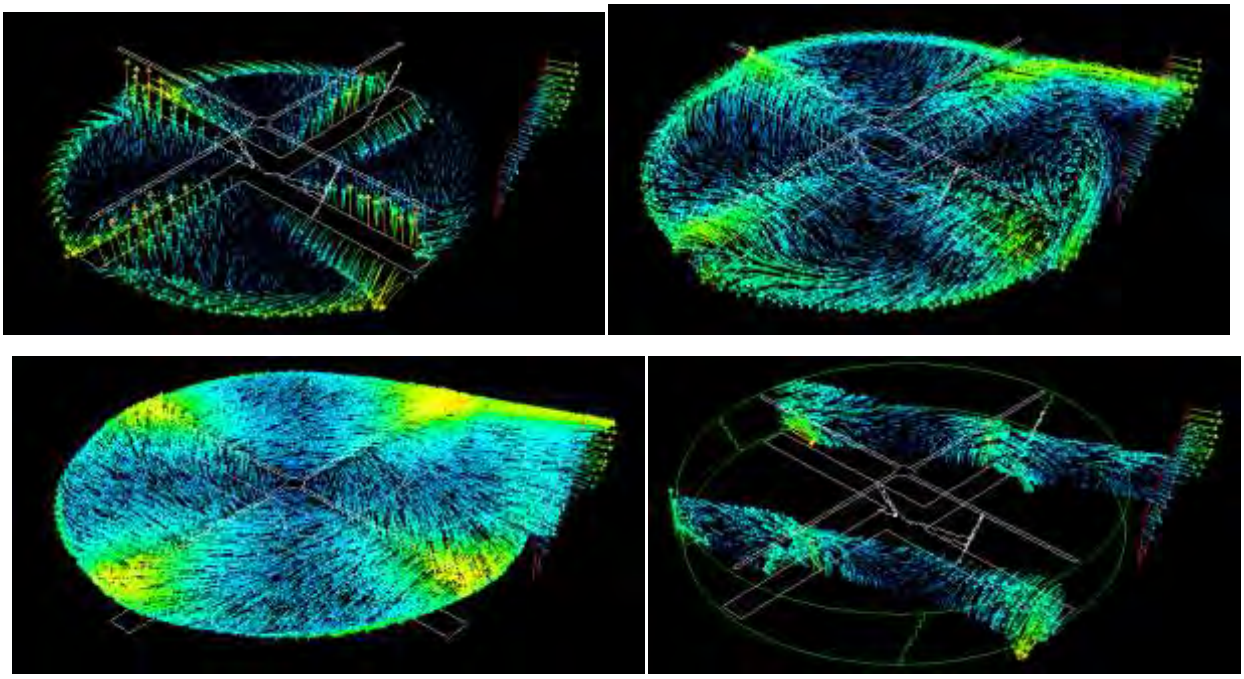
в)



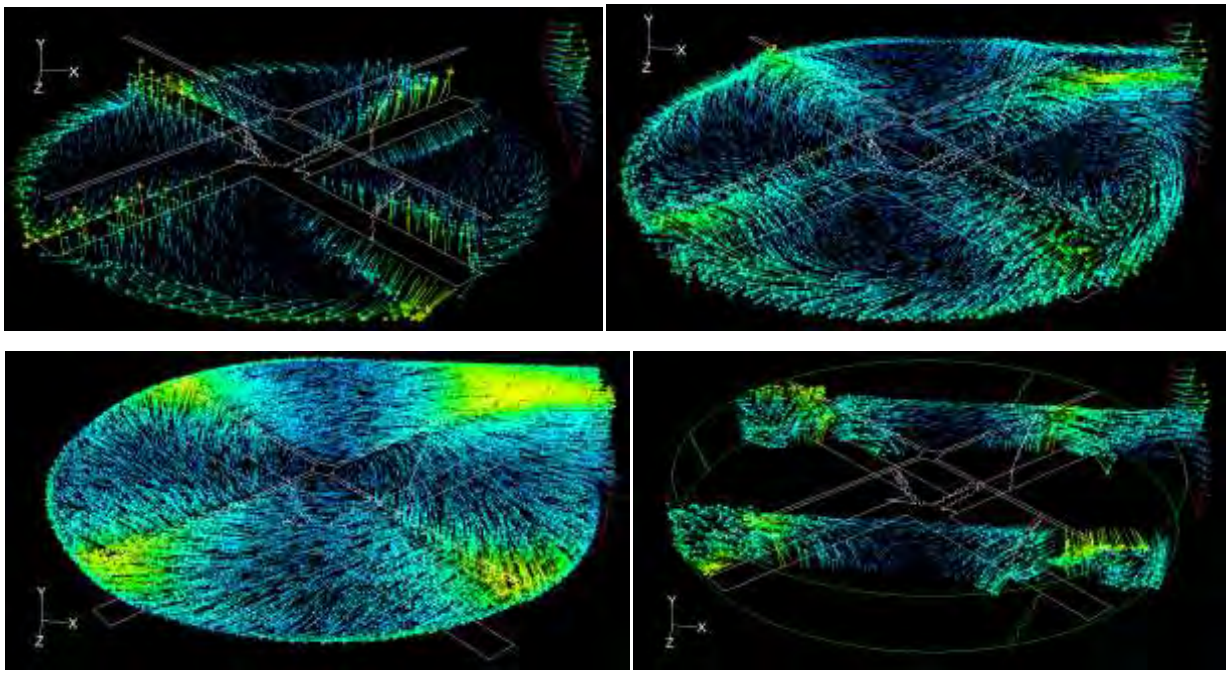
г)

Продолжение приложения 3

Векторные поля скорости для положения ротора 22,5º (положение б)



Векторные поля скорости для положения ротора 45º (положение в)



Приложение 4

Расчет результатов двухфакторного эксперимента в программе Microsoft Excel

	Варианты признака X1	Варианты признака X2	Наблюдения фактора		
1	1	1	0,5	0,5	0,49
2	-1	1	0,2	0,21	0,21
3	1	-1	0,25	0,26	0,25
4	-1	-1	0,15	0,16	0,15
5	1	0	0,45	0,45	0,44
6	-1	0	0,2	0,21	0,2
7	0	1	0,45	0,43	0,44
8	0	-1	0,2	0,21	0,21
9	0	0	0,35	0,33	0,34

1	отклонение			
	(Yi-Ysr)^2	0,00001111	0,00001111	0,00004444
		0,00004444	0,00001111	0,00001111
		0,00001111	0,00004444	0,00001111
		0,00001111	0,00004444	0,00001111
		0,00001111	0,00001111	0,00004444
		0,00001111	0,00004444	0,00001111
		0,00010000	0,00010000	0,00000000
		0,00004444	0,00001111	0,00001111
		0,00010000	0,00010000	0,00000000
2	Построчные дисперсии			
	(Yi-Ysr)^2/(ni-1)	0,0000333		
		0,0000333		
		0,0000333		
		0,0000333		
		0,0000333		
		0,0000333		
		0,0001000		
		0,0000333		
		0,0001000		
	Сумма построчных дисперсий		0,000433333	
3	Коэффициенты регрессии			
	B0	0,353703704		
	B1	0,105555556		
	B2	0,088333333		
	B11	-0,035555556		
	B22	-0,037222222		
	B12	0,0475		
4	Сумма квадратов результатов наблюдений			
	(yy)=сумма(y)^2	0,969844444		

Продолжение приложения 4

кол-во (ni)	SUMi	Ysri
3	1,49	0,49667
3	0,62	0,20667
3	0,76	0,25333
3	0,46	0,15333
3	1,34	0,44667
3	0,61	0,20333
3	1,32	0,44
3	0,62	0,20667
3	1,02	0,34

	SUM	Ysr
27	**8,24**	**0,30519**

Кодирование факторов

Нулевой уровень	30	36
Интервал	10	12
Нижний уровень	20	24
Верхний уровень	40	48
Обозначение	X1	X2

Дисперсия воспроизводимости единичного значения

Сумма(Yi-Ysr)^2/N

0,0000481

Дисперсия воспроизводимости среднего значения

Сумма(Yi-Ysr)^2/N/ni

0,0000160494

Продолжение приложения 4

Сумма квадратов связанная с b0			Дисперсии		Дисперсионные отношения			
	0,161640741		0,161640741		10071,46154			
Сумма квадратов связанная с bi								
	0,113668519		0,056834259		3541,211538			
Сумма квадратов связанная с bij, bii								
	0,690925617		0,230308539		14349,99359			
Остаточная дисперсия								
	0,003609568		0,001203189		74,96794872			
Sвосп		**Sвосп/ni**		**Дисперсия**				
0,000866667		0,000288889		**0,000016049**				
Критерий Кохрена	**0,230769231**							
Раскодирование факторов				Расчет				
Свободный член	-0,455462963			-0,316666667	-0,265	-0,32	-0,335	0,4275
При X1	0,017638889			0,010555556	0,021333333	-0,01425		
При X2	0,014097222			0,007361111	0,018611111	-0,011875		
При (X1)2	-0,000355556							
При (X2)2	**-0,000258488**							
При X1X2	**0,4275**							

Приложение 5

Величины высоты среза травостоя существующим рабочим органом

№ замера	Высота среза, см	№ замера	Высота среза, см	№ замера	Высота среза, см	№ замера	Высота среза, см
1	8,3	26	8,69	51	14,31	76	12,44
2	12,5	27	7,12	52	9,45	77	8,76
3	8,37	28	14,61	53	8,36	78	9,64
4	8,11	29	8,63	54	18,3	79	7,52
5	11,76	30	8,93	55	8,26	80	7,67
6	8,7	31	8,05	56	7,56	81	7,56
7	8,46	32	9,32	57	14,11	82	15,0
8	8,65	33	8,62	58	8,9	83	7,46
9	8,35	34	8,29	59	9,25	84	8,64
10	16,2	35	13,4	60	8,75	85	9,18
11	8,12	36	9,54	61	7,53	86	8,14
12	8,75	37	8,46	62	8,76	87	7,3
13	8,24	38	8,15	63	8,48	88	12,68
14	11,98	39	8,36	64	12,32	89	8,26
15	8,25	40	17,8	65	7,46	90	5,9
16	9,65	41	7,36	66	9,12	91	7,23
17	8,43	42	7,79	67	8,34	92	9,54
18	8,35	43	9,64	68	11,23	93	8,39
19	8,56	44	8,39	69	8,17	94	8,49
20	13,64	45	9,42	70	9,467	95	13,49
21	17,1	46	8,2	71	7,37	%	8,57
22	8,11	47	10,98	72	7,24	97	14,22
23	7,9	48	8,76	73	12,68	98	8,64
24	9,53	49	8,24	74	8,37	99	8,38
25	8,77	50	8,68	75	8,67	100	9,21

Продолжение приложения 5

Величины высоты среза травостоя разработанным рабочим органом

№ замера	Высота среза, см	№ замера	Высота среза, см	№ замера	Высота среза, см	№ замера	Высота среза, см
1	8,3	26	8,44	51	8,54	76	7,5
2	8,28	27	8,12	52	8,05	77	8,69
3	8,37	28	16,37	53	8,53	78	8,37
4	8,11	29	8,88	54	8,83	79	7,59
5	8,23	30	8,87	55	8,18	80	7,97
6	8,7	31	8,25	56	8,0	81	8,93
7	8,46	32	7,95	57	8,2	82	8,32
8	8,65	33	8,12	58	8,15	83	7,5
9	8,35	34	8,29	59	8,29	84	7,6
10	8,23	35	7,4	60	8,11	85	8,18
11	8,0	36	8,41	61	8,53	86	8,04
12	8,84	37	8,34	62	8,88	87	7,3
13	8,26	38	8,05	63	8,36	88	8,85
14	8,58	39	8,19	64	11,20	89	8,27
15	8,18	40	8,08	65	8,57	90	7,9
16	8,86	41	7,76	66	8,29	91	5,23
17	8,59	42	7,65	67	18,39	92	8,44
18	8,34	43	8,55	68	8,5	93	8,29
19	8,98	44	8,69	69	8,29	94	6,32
20	8,14	45	8,36	70	8,94	95	6,6
21	6,95	46	8,09	71	7,48	%	6,86
22	8,11	47	8,23	72	7,31	97	7,54
23	7,9	48	8,76	73	7,14	98	8,94
24	8,49	49	8,61	74	8,45	99	6,65
25	8,77	50	8,38	75	8,71	100	8,25

Приложение 6

УТВЕРЖДАЮ

Директор ООО "Сады Бахчисарая"

Е.В. Кезик

«2» 20 15 г.

м.п.

АКТ

производственной проверки опытного образца косилки для скашивания сидератов в садах и виноградниках

Комиссия в составе: председатель - главный инженер ООО "Сады Бахчисарая" Чернов А.Б., члены комиссии: заведующий кафедрой технических систем в агробизнесе кандидат технических наук Машков А.М.; главный инженер ФГАОУ ВО "КФУ им В.И. Вернадского" АБиП Симонов А.В.; зам.декана по науки факультета МПиТПСХП ФГАОУ ВО "КФУ им В.И. Вернадского" АБиП доктор с.х. наук, профессор Догода П.А. и соискатель ФГАОУ ВО "КФУ им В.И. Вернадского" АБиП инженер Красовский В.В. провела производственную проверку опытного образца косилки для скашивания травостоя в междурядьях при возделывании сада 2005 года посадки с междурядьями 3 м в период с 2013 по 2015 гг.

Косилка состоит из навесного устройства, рамы, присоединяемой к навесному устройству, рама установлена на опорных колесах. Ножи, с установленными на них лопастями, смонтированы на ступице ротора, и установлены внутри кожуха, выполненного в форме улитки. Привод ротора осуществляется от ВОМ.

При движении косилки по междурядью травостой скашивается и измельчается ножами, которые приводятся во вращение ротором через редуктор от ВОМ трактора. На ножах установлены лопасти. Ножи с лопастями расположены в кожухе, имеющем форму улитки. При движении косилки по междурядью, травостой скашивается и измельчается ножами ротора. За счет установленных на ножах лопастей при вращении ротора в улитке возбуждается воздушный поток. Воздушный поток приподнимает примятый травостой, что позволяет осуществлять равномерное скашивание его с меньшими пропусками. Скошенная и измельченная масса выбрасывается в пристолбовую зону через выходное отверстие кожуха.

В ходе производственных испытаний были получены следующие результаты:

1. Косилка обеспечивает на высоте среза 80 мм полноту скашивания не менее 97%.
2. Травостой в междурядьях скашивается, измельчается на частицы размером до 0,06м.

Продолжение приложения 6

3. Скошенная масса перемещается в ряд сада, за один проход агрегат скашивает травостой в междурядье и накрывает мульчирующим материалом пристолбовые зоны двух полурядов.

4. Скорость выполнении технологического процесса при установленных параметрах и режимах работы должна быть в пределах 5-7 км/ч. Превышение указанного значения приводит к снижению полноты скашивания, и снижению количества массы, перемещенной в ряд деревьев, наблюдается оставление скошенной массы в междурядье.

5. Из-за неоднородности скошенного и измельченного материала мульчматериал равномерно покрывает пристолбовые полосы сада.

6. Применение косилки позволяет сократить число операций скашивания травостоя с шести до четырех за сезон

7. Внедрение в производство разработанной косилки позволяет сократить снизить нормы внесения гербицидов в приствольные полосы (до одной операции за сезон).

В целом устройство работоспособно и качественно выполняет технологический процесс.

Председатель комиссии _____ А.Б.Чернов

Члены комиссии _____ А.М. Машков

_____ А.В.Симонов

_____ П.А. Догода

_____ В.В. Красовский

Приложение 7

«УТВЕРЖДАЮ»
Декан факультета Механизации
производства и технологии
переработки сельскохозяйственной
продукции
Академии биоресурсов и
природопользования
ФГАОУ ВО «КФУ
им. В.И. ВЕРНАДСКОГО»
С.С.Воложанинов
«15» июня 2017г.

СПРАВКА О ВНЕДРЕНИИ

Результаты кандидатской диссертационной работы Красовского В.В., на тему: «Обоснование параметров и режимов работы косилки для скашивания сидератов в садах и виноградниках», внедрены на кафедре Технических систем в агробизнесе в учебном процессе при подготовке бакалавров по направлению 35.03.06 – «Агроинженерия» в дисциплинах: «Тракторы и автомобили», «Сельскохозяйственные машины», «Основы теории сельскохозяйственных машин», «Ресурсосберегающие и инновационные технологии в АПК», а также при подготовке магистров по направлению 35.04.06 – «Агроинженерия» в дисциплинах: «Технология испытаний сельскохозяйственной техники», «Энергетическая оценка технологических процессов».

Зав. кафедрой технических
систем в агробизнесе
к.т.н., доцент А.М.Машков

Приложение 8

УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора НПСХП "Наука"
_____ В.И. Анищенко
"___" _____ 20 14

АКТ ВНЕДРЕНИЯ
результатов диссертационной работы Красовского В.В. "Обоснование параметров и режимов работы косилки для скашивания сидератов в междурядьях садов и виноградников " в производство

Настоящим актом подтверждается, что результаты диссертационной работы Красовского В.В. " Обоснование параметров и режимов работы косилки для скашивания сидератов в междурядьях садов и виноградников " выполненной в Академии биоресурсов и природопользования "Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского" внедрены в Научно-производственном сельскохозяйсвенном предприятии "Наука".

1. Вид внедренных результатов: модернизация косилки роторной навесной для скашивания сидератов в междурядьях садов и виноградников в соответствие с предложенными в диссертационной работе рекомендациями.

2. Форма внедрения: оснащение косилки модернизированным рабочим органом и кожухом.

3.Характеристика масштаба внедрения: единичное в количестве четырех косилок.

4.Социально и научно-технический эффект: в результате модернизации косилки срез стерни более чистый и равномерный применение усовершенствованного рабочего органа оказывает положительное влияние на качество среза травостоя (количество пропущенных (не срезанных) стеблей сократилось на 16-17%. Травостой в междурядьях скашивается, измельчается на частицы размером до 6 см. Скошенная масса перемещается в ряд деревьев, за каждый проход агрегат накрывает мульчирующим материалом приствольные полосы двух полурядов. Энергетические затраты на выполнение технологического процесса при использовании разработанной косилки под условной маркой КВР-М м на 28-30 % или на 970-990 МДж/га.

Аспирант
КФУ АБиП им. В.И. Вернадского
_____ В.В. Красовский
"10" 02 20 14

Приложение 9

Утверждаю

Директор Государственного предприятия "Алушта"

_____ В.Д. Губанов

«14» сентября 2013г.

М.П.

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы в производство

Мы, нижеподписавшиеся представители ГП "Алушта": директор Губанов В.Д.: директор Палагин Ю.Н., главный агроном Ковалев С.А., главный инженер Паратуй В.В. - с одной стороны и ЮФ НУБиПУ "КАТУ" профессор Догода П.А, аспирант Красовский В.В. составили настоящий акт о внедрении в производство косилки для скашивания сидератов в междурядьях садов и виноградников в хозяйства ГП "Алушта".

1.Вид внедрения результатов: косилка для скашивания травостоя в междурядьях садов и виноградников.

2.Область и форма внедрения: производственный процесс возделывания виноградных насаждений.

3. Эффект от внедрения:

а) Социальный и научно-технический эффект: заключается в снижении энергозатрат на 30 % или на 1000 МДж/га.

б) Экономический эффект от внедрения косилки заключается в снижении эксплуатационных расходов на 33,12%, приведенных затрат на 33,2%. Эффект достигается за счет улучшения качества скашивания травостоя и как следствие – снижения необходимых технологических операций за сезон и повышения количества продукции при возделывании виноградников.

ЮФ НУБиПУ "КАТУ":

Научный руководитель диссертанта
Д.с.х.н. профессор
_____ П.А. Догода
«14» сентября 2013г.

Диссертант
_____ В.В. Красовский
«14» сентября 2013г.

От предприятия:

Главный агроном
_____ С.А. Ковалев
«14» сентября 2013г.

Главный инженер
_____ В.В. Паратуй
«14» сентября 2013г.

Приложение 10

УТВЕРЖДАЮ
Директор ООО "Сады Бахчисарая"
_____ Е.В. Кезик
«___» _____ 20__ г.
М.П.

АКТ
о внедрении результатов диссертационной работы
в производство

Мы, представители ООО " Сады Бахчисарая": директор Кезик Е.В., главный инженер Чернов А.Б. настоящим актом подтверждаем, что результаты диссертационной работы Красовского Виталия Викторовича, «Обоснование параметров и режимов работы косилки для скашивания сидератов в садах и виноградниках», выполненной в ФГАОУ ВО "КФУ им В.И. Вернадского" Академия биоресурсов и природопользования, приняты к внедрению приказ № 11/68 от 10.05.2013г. И внедрены на участке № 12 интенсивного сада 2005 года посадки с междурядьями 3м. Свободная часть междурядий была залужена многолетними травами, приствольные полосы с шириной 0,5 м по каждую сторону ряда по технологии проводятся обработки агрохимикатами (гербицидами), стыки гербицидного пара и залужения обрабатываются фрезой в период с 2013 г. по 2015г.

1.Вид внедрения результатов: косилка для скашивания травостоя в междурядьях садов и виноградников.

2.Область и форма внедрения: производственный процесс возделывания многолетних насаждений (садов и виноградников).

3. Публикации по материалам НИР: по материалам исследований опубликовано 13 статей, две из них в изданиях рекомендованных ВАК РФ.

4.Технический уровень НИР: подана заявка на полезную модель, получен патент РФ на полезную модель № 157023, МПК A01D34/84 (2006.01) A01D43/08 (2006.01). Опубликован 20.11.2015, Бюлл. № 32.

5. Эффект от внедрения:

а) Социальный и научно-технический эффект: заключается в снижении энергозатрат на 30 %. При использовании новой косилки затраты, приходящиеся на единицу продукции снижаются 30 %.

б) Экономический эффект от внедрения новой машины достигает 8000 руб./га, срок окупаемости машины находится в пределах одного года работы при производственном объеме в 20 га.

От ФГАОУ ВО "КФУ им В.И. Вернадского"АБиП:
Научный руководитель диссертанта
Д.с.х.н. профессор
_____ П.А. Догода
«21» ноября 2015 г.

Зав. кафедрой технических систем в агробизнесе
к.т.н. доцент
_____ А.М. Машков
«21» ноября 2015 г.

Диссертант
_____ В.В. Красовский
«21» ноября 2015 г.

От предприятия:
Директор ООО "Сады Бахчисарая"
_____ Е.В. Кезик
«21» ноября 2015 г.

Приложение 11

Утверждаю

Генеральный директор
ООО "Инвест - плюс"
_____ А.Л. Григорьев
«10» августа 2016 г.
м.п.

АКТ
о внедрении (использовании) результатов диссертационной работы
Красовского Виталия Викторовича

Мы, представители ООО "Инвест Плюс": главный агроном Клюка Н.П., главный инженер Телепенько А.В., настоящим актом подтверждаем, что результаты диссертационной работы Красовского Виталия Викторовича, «Обоснование параметров и режимов работы косилки для скашивания сидератов в садах и виноградниках», выполненной в ФГАОУ ВО "КФУ им В.И. Вернадского" Академия биоресурсов и природопользования, приняты к внедрению приказ № 11/68 от 10.05.2013г. и внедрены на участке виноградников F 24, в Вилино в период с 2013 г. по 2016г.

Вид внедрения результатов: косилка для скашивания травостоя в междурядьях садов и виноградников.

Область и форма внедрения: производственный процесс возделывания виноградников.

Внедрение предлагаемой косилки экономически целесообразно. Использование предлагаемых технологических и технических решений позволяет уменьшить энергетические затраты при скашивании травостоя в междурядьях на 29-30% и повысить урожайность виноградников на 9-10%, обеспечивает полноту скашивания в пределах 98%.

От ФГАОУ ВО "КФУ им В.И. Вернадского" АБиП:

Научный руководитель диссертанта
Д.с.х.н. профессор
_____ П.А. Догода
«10» августа 2016 г.

Зав. кафедрой технических систем в агробизнесе к.т.н. доцент
_____ А.М. Машков
«10» августа 2016 г.

Диссертант
_____ В.В. Красовский
«10» августа 2016 г.

От предприятия:

Главный агроном
ООО "Инвест - плюс"
_____ Н.П. Клюка
«10» августа 2016 г.

Главный инженер
ООО "Инвест - плюс"
_____ А.В. Телепенько
«10» августа 2016 г.