

На правах рукописи



ПОЛИЩУК Евгений Александрович

КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОСИЛКИ ДЛЯ
ОБРАБОТКИ ПРИСТВОЛЬНЫХ ПОЛОС ПЛОДОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ
НА ТЕРРАСИРОВАННЫХ СКЛОНАХ

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Краснодар – 2022

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

Научный руководитель: **Апажев Аслан Каральбиевич,**
доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Камбулов Сергей Иванович,**
доктор технических наук, доцент, ФГБНУ Аграрный научный центр «Донской», структурное подразделение «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства», отдел механизации полеводства, главный научный сотрудник
Красовский Виталий Викторович,
кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», кафедра «Общетеchnические дисциплины», ассистент

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ**
(г. Мичуринск)

Защита состоится «15» июня 2022 года в 14⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 220.038.08 при ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ по адресу: 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13, Кубанский ГАУ, корпус факультета механизации, ауд. 345.

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

Автореферат разослан «__» _____ 2022 г. и размещен на официальном сайте ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации <https://vak3.ed.gov.ru> и на сайте ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ <http://kubsau.ru/>.

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

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Садоводство - одна из самых динамично развивающихся отраслей сельскохозяйственного производства. В последние годы в Российской Федерации отмечается ежегодный рост площадей под сады, валовой сбор и высокая урожайность. В Северо-Кавказском регионе, ввиду ограниченности площадей, пригодных к использованию для нужд сельскохозяйственного производства, перспективным направлением является освоение склоновых земель, характеризующихся благоприятными почвенно-климатическими условиями для возделывания плодовых культур.

В садах на террасированных склонах рекомендуется дерново-перегнойная система содержания почвы, предусматривающая периодическое скашивание, произрастающей в междурядьях и приствольных полосах плодовых насаждений сорной растительности, с одновременным ее измельчением и распределением на поверхности почвы в качестве мульчи.

Для скашивания травяной растительности в садах применяются косилки, имеющие различные конструктивно-технологические отличия. Однако, существующие конструкции косилок не позволяют полностью удалять растительность в приствольной полосе плодовых насаждений при однократном проходе агрегата вдоль линии ряда, что отрицательно сказывается на эффективности их применения на террасированных склонах, где подход к линии ряда возможен только с одной стороны.

В связи с вышеизложенным, разработка новой конструкции косилки, удовлетворяющей требованиям работоспособности на террасированных склонах, является актуальной.

Научные исследования проводились в период с 2017 по 2021 гг. по тематике НИР ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ «Разработка инновационных технологий и технических средств по уходу за плодовыми насаждениями в горном и предгорном садоводстве», в рамках «Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 гг.» (Постановление Правительства РФ от 14.07.2012 г. №717), научно-исследовательских работ по заказу МСХ РФ по теме: Разработка технологии и технических средств по уходу за плодовыми насаждениями в интенсивном садоводстве на склоновых землях юга России с целью повышения плодородия и получения экологической чистой продукции (номер государственной регистрации АААА-А19-119071290029-9).

Научная гипотеза: обеспечение качественного скашивания травяной растительности в приствольных кругах и полосах плодовых насаждений в условиях террасированных склонов может быть достигнуто за счет обхода поворотной секции с ротационными режущими органами вокруг штамба дерева, без его повреждения, при однократном проходе косилки.

Степень разработанности темы исследований. Большой вклад в разработку системы машин для механизации садоводства внесли В. В. Бычков,

П. А. Догода, А. И. Завражнов, С. И. Камбулов, К. А. Манаенков, А. С. Пронь, Ю. А. Утков, А. А. Цымбал, Ю. А. Шекихачев, Л. А. Шомахов и многие другие.

Данная работа дополняет эти исследования путем обоснования конструктивно-режимных параметров косилки, обеспечивающей полное удаление травяной растительности в приствольных полосах плодовых насаждений на террасированных склонах.

Цель исследования – обоснование конструктивно-режимных параметров работы косилки для обработки приствольных полос плодовых насаждений на террасированных склонах, обеспечивающих полное удаление травяной растительности без вывода рабочего органа из линии ряда и повреждения штамбов деревьев.

Задачи исследования

1. Обосновать конструктивно-технологическую схему косилки для обработки приствольных полос плодовых насаждений на террасированных склонах.

2. Исследовать процесс обхода поворотной секции с ротационными режущими органами вокруг штамба дерева.

3. Установить рациональные конструктивно-режимные параметры косилки для обработки приствольных полос плодовых насаждений на террасированных склонах.

4. Оптимизировать основные конструктивно-режимные параметры косилки по критерию степени удаления растительности.

5. Провести полевые испытания предлагаемой конструкции косилки.

6. Определить экономическую эффективность применения предлагаемой косилки на террасированных склонах.

Объект исследования – процесс обхода поворотной секцией с ротационным режущим аппаратом вокруг штамба дерева, опытный образец косилки для обработки приствольных полос плодовых насаждений на террасированных склонах.

Предмет исследования – закономерности процессов взаимодействия поворотной секции со штамбом дерева и скашивания растительности в зоне приствольного круга.

Методы исследования. Теоретические исследования проводились с использованием известных законов математического анализа и теоретической механики. При проведении экспериментальных исследований применялись методы планирования многофакторного эксперимента. Обработка полученных данных осуществлена с использованием методов математической статистики и пакетов программ MathCad и Microsoft Excel.

Научную новизну работы составляют:

- аналитические зависимости, позволяющие определить условия, обеспечивающие обработку всей площади приствольного круга при обходе штамба дерева поворотной секцией, конструктивно-режимные параметры косилки (размеры и угловую скорость вращения режущих сегментов, угловую скорость вращения поворотной секции вокруг штамба дерева, диаметр отбойных колес;

начальный угол установки и величину смещения поворотной секции, жесткость упругих элементов, скорость движения);

- математические модели в виде уравнений регрессии, позволяющие установить оптимальные конструктивно-режимные параметры работы предлагаемой косилки.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическую значимость работы представляют: аналитические зависимости, описывающие процессы перемещения и взаимодействия поворотной секции при контакте со штамбом дерева, а также работы ротационного режущего аппарата в зоне приствольного круга, позволяющие обосновать основные конструктивно-режимные параметры предлагаемой косилки.

Практическую значимость работы представляют:

- конструктивно-технологическая схема косилки для обработки приствольных полос плодовых насаждений на террасированных склонах, позволяющая выполнять полное удаление травяной растительности в приствольных полосах плодовых насаждений на террасированных склонах;

- конструктивно-режимные параметры предлагаемой конструкции косилки.

Реализация результатов исследований. Опытный образец косилки прошел производственные испытания в садах на террасированных склонах ООО «Племенной совхоз «Кенже» (г. о. Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика). Результаты исследований приняты к использованию в ФГБНУ «Северо-Кавказский НИИ горного и предгорного садоводства», ООО «Племенной совхоз «Кенже», ООО «ГРИН-ПИКЪ КЕЖЕ», Автономной некоммерческой организации «Садоводство, огородничество и сельское хозяйство «Агроном» (г. о. Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика). Результаты исследований используются в учебном процессе ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ.

На защиту выносятся следующие основные положения:

- конструктивно-технологическая схема косилки для обработки приствольных полос плодовых насаждений на террасированных склонах;

- аналитические зависимости, описывающие процесс обхода штамба дерева поворотной секцией с ротационными режущими органами, позволяющие обосновать основные конструктивно-режимные параметры предлагаемой косилки;

- результаты экспериментальных исследований по определению оптимальных конструктивно-режимных параметров косилки для обработки приствольных полос плодовых насаждений на террасированных склонах.

Апробация работы. Основные положения научно-квалификационной работы докладывались на: Международной научно-практической конференции «Современные проблемы, перспективы и инновационные тенденции развития аграрной науки», посвященная 85-летию со дня рождения члена-корреспондента РАСХН, д.в.н., профессора М. М. Джамбулатова (Махачкала, 25–26 ноября 2010 г.); Международной научно-практической конференции «Научное обеспечение инновационного развития агропромышленного ком-

плекса регионов РФ» (Лесниково, 06 февраля 2018 г.; VIII Всероссийской научно-практической конференции «Инженерное обеспечение инновационного развития агропромышленного комплекса России», посвященной памяти доктора технических наук, профессора Ю. М. Хаширова (Нальчик, 25–26 апреля 2019 г.); VII Международной научно-практической конференции «Экономические, био-техничко-технологические аспекты устойчивого сельского развития в условиях цифровой трансформации» памяти Б. Х. Жерукова (Нальчик, 25 декабря 2019 г.).

Разработанная косилка отмечена дипломом и бронзовой медалью Российской агропромышленной выставки «Золотая осень» (г. Москва, 2019 г.), дипломом I степени Международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал» (г. Ставрополь, 2021 г.).

Публикации. По теме исследований опубликовано 24 печатные работы, в том числе 2 в изданиях, входящих в МБД Scopus, 5 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 монография, 2 патента РФ на изобретение и 8 патентов РФ на полезную модель.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа содержит введение, четыре главы, заключение, список литературы, включающий 163 наименования. Работа изложена на 138 страницах машинописного текста, содержит 38 страниц приложений, 41 рисунок и 7 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В **первой главе** проведен анализ современного состояния и перспективы развития садоводства на склонах КБР, изложены особенности возделывания садов на террасированных склонах, проанализированы технологии и технические устройства для удаления травяной растительности в приствольных полосах многолетних насаждений, проведен обзор научных исследований по изучению процессов ухода за приствольными полосами плодовых насаждений.

Анализ опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ по разработке и применению косилок для обработки приствольных полос плодовых насаждений показал, что в настоящее время разработаны и широко применяются косилки с дополнительной выдвижной секцией для обработки приствольных полос в садах. Однако, эффективность применения данных косилок обеспечивается при двух смежных проходах вдоль линии ряда деревьев. В условиях террасированных склонов данные косилки не могут быть использованы, так как подход к линии ряда деревьев имеется только со стороны полотна террасы, другая сторона ряда останется не обработанной. В связи с этим возникла необходимость разработки косилки, позволяющая полностью обрабатывать приствольные полосы плодовых насаждений на террасированных склонах за один проход.

На основании проведенного анализа сформулированы цель и задачи исследований.

Во второй главе предложен способ обхода штамба дерева, суть которого состоит в том, что конструктивные параметры косилки, после начала ее контакта со штамбом дерева, обеспечивают перекатывание по его поверхности, находящихся с ним в зацеплении, предохранительных колес 1 и 2 (рис. 1), что позволяет выполнить поворот секции с ротационными рабочими органами вокруг штамба дерева на угол, достаточный для полной обработки приствольного круга.

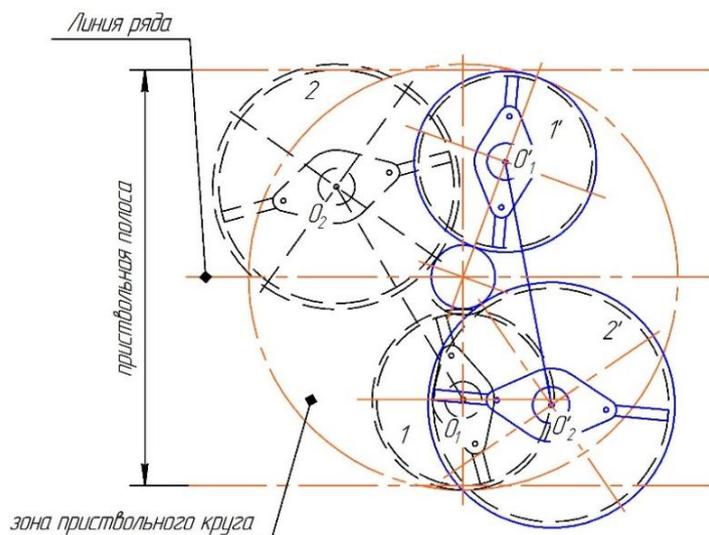


Рисунок 1 - Схема обхода штамба дерева

Первый показатель, представляющий собой отношение площади, обработанной вокруг штамба дерева при выполнении технологического процесса, к величине площади приствольного круга, подлежащей обработке зависит от конструктивно-режимных параметров поворотной секции.



Рисунок 2 – Схема взаимосвязи конструктивно-режимных параметров косилки и степени удаления растительности в зоне приствольного круга

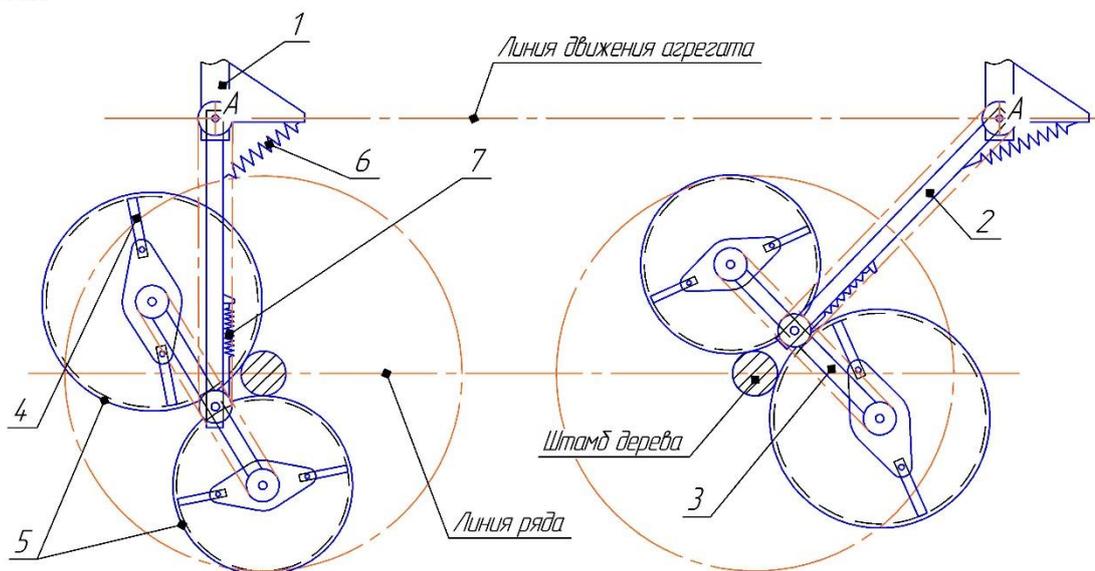
Выявлены конструктивно-режимные параметры косилки, влияющие на степень удаления растительности в зоне приствольного круга (рис. 2).

При обработке приштамбовой зоны степень удаления растительности, будет складываться из следующих двух частных показателей: полноты обработки площади приствольного круга и полноты скашивания растительности в пределах обработанной вокруг штамба дерева площади.

Второй показатель, определяемый отношением количества скошенных стеблей, в пределах обработанной площади, к общему количеству произрастающих стеблей, зависит от конструктивно-режимных параметров ротационного режущего аппарата.

Приведена конструктивно-технологическая схема косилки для скашивания растительности в приствольной полосе и исследован процесс ее работы при обработке зоны вокруг штамба дерева.

Предлагаемая конструктивно - технологическая схема косилки (рис. 3) содержит шарнирно соединенный с основной рамой 1 поворотный рычаг 2, на консоли которого шарнирно установлена поворотная секция. Поворотная секция представляет собой поворотную балку 3 с размещенными на ее концах роторными рабочими органами с режущими сегментами 4 и, выполненными свободно вращающимися, прорезиненными предохранительными колесами 5, предназначенными также для защиты штамбов от повреждений режущими сегментами.



а) при входе в зацепление со штамбом дерева.

б) при выходе из зацепления со штамбом дерева

Рисунок 3 – Предлагаемая конструктивно-технологическая схема косилки для скашивания растительности в приствольных полосах плодовых насаждений на террасированных склонах

Поворотный рычаг 2 и поворотная секция удерживаются в заданном положении пружинами 6 и 7 соответственно. Привод рабочих органов, посредством шкивов и клиноременной передачи, может осуществляться как от гидродвигателя, установленного на основной раме, так и ВОМ трактора.

Работает косилка следующим образом. При подходе агрегата к дереву (рис. 3, а) предохранительные колеса 5 соприкасаются с его штамбом, после чего, при поступательном перемещении вдоль линии ряда, первоначально под действием кинематических связей, а затем под действием вращающего момента, создаваемого упругим элементом 6, рычаг 2 отклоняется относительно оси А, при этом предохранительные колеса 5, безотрывный контакт которых со штамбом дерева обеспечивается силами давления упругих элементов 6 и 7, перекачиваются по штамбу дерева, принуждая проворачиваться вокруг штамба дерева поворотную секцию с размещенными на ней роторными рабочими органами 4, чем обеспечивается полное скашивание растительности вокруг штамба дерева при однократном проходе агрегата (рис. 3, б).

Рассмотрены силы, возникающие при контакте поворотной секции со штамбом дерева (рис. 4).

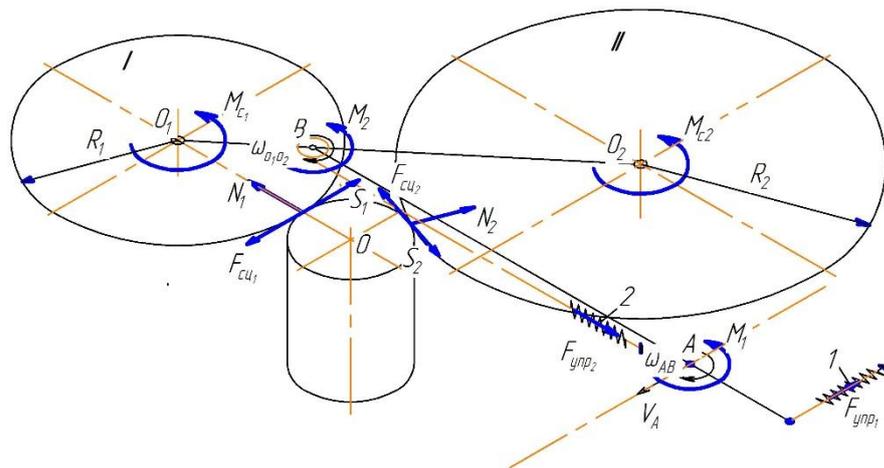


Рисунок 4 – Силы, действующие на систему «поворотная секция-штамб дерева»

В точках контакта предохранительных колес со штамбом дерева действуют нормальные силы N_1 , N_2 и силы сцепления $F_{сц1}$, $F_{сц2}$, моменты M_1 и M_2 , создаваемые силами F_1 и F_2 упругих элементов 1 и 2 входящих в конструкцию косилки, а также моменты сопротивления вращению предохранительных колес M_{c1} и M_{c2} .

Значение нормальной реакции штамба дерева, в течении всего времени выполнения технологического процесса скашивания растительности в зоне приствольного круга, должно быть не менее минимального значения, обеспечивающего условие качения колеса по штамбу дерева, но не превышать допускаемых значений, приводящих к повреждению коры штамбов деревьев. Исходя из данного условия, значение нормальной реакции, приложенной в точках контакта, должно лежать в пределах:

$$N_{min} \leq N_i \leq N_{max}, \quad (1)$$

где N_{min} – минимальное значение нормальной реакции штамба дерева, необходимое для обеспечения перекатывания отбойных колес по штамбу дерева, Н; N_{max} – максимальное значение нормальной реакции штамба дерева, не приводящее к повреждениям коры штамба дерева, Н.

Каждое из предохранительных колес 1 и 2 необходимо прижимать к штамбу дерева с некоторой силой N_i . Если $F_{сцi} \geq S_i = M_{c_i}/R_i$, то проскальзывания не происходит.

Действие моментов сопротивления вращению M_{c1} и M_{c2} обусловлено наличием сил трения скольжения в подшипниках скольжения, посредством которых предохранительные колеса установлены на валах.

Величина момента M_1 , направление действия которого зависит от положения поворотной секции относительно штамба дерева, определяется из выражения (рис. 5):

$$M_1 = F_{упр1} \cdot l_2 \sin \gamma_1, \quad (2)$$

где $F_{упр1}$ – сила упругости пружины 1, Н/м; l_2 – длина звена AE , отрезка, ограниченного шарниром крепления поворотного рычага на раме и точкой при-

ложения силы $F_{упр1}$, м; γ_1 – угол между осями поворотного рычага и пружины, град.

Величина силы упругости пружины $F_{упр1}$ определяется по формуле:

$$F_{упр1} = c_1 \cdot \Delta l_3, \quad (3)$$

где c_1 – жесткость пружины 1, Н/м; Δl_3 – удельное растяжение пружины, м.

$$\Delta l_3 = l_{p3} - l_{03}, \quad (4)$$

где l_{p3} , l_{03} – длины пружины 1 в деформированном и свободном состояниях соответственно, м.

Из схемы (рис. 5) следует:

$$l_{p3} = \sqrt{k^2 + l_2^2 - 2kl_2 \cos \varepsilon}, \quad (5)$$

где k – длина отрезка AC , ограниченного шарниром крепления поворотного рычага на раме и точкой крепления пружины к раме, м; ε – угол между осями рычага AE и линии AC , характеризующий текущее положение поворотного рычага относительно рамы косилки, рад.

Действие вращающего момента M_1 может быть также выражено, приложенной на консоли поворотной секции, силой P_1 , которая будет определяться из уравнения равновесия моментов сил относительно точки A .

$$P_1 = F_{упр1} \cdot l_2 \sin \gamma_1 / l_1, \quad (6)$$

где l_1 – длина звена AB , отрезка, ограниченного шарниром крепления поворотного рычага на раме и точкой приложения силы P_1 , м.

Механизм возврата поворотной секции включает в себя упругий элемент, один конец которого жестко связан с поворотным рычагом, а второй с тросом, наматываемым на барабан, установленный на оси вращения поворотной секции. При вращении поворотной секции и наматывании троса на барабан, сила упругости $F_{упр2}$ создает вращающий момент M_2 .

Величина вращающего момента M_2 , направление действия которого остается постоянным на протяжении всего времени обхода штамба дерева, равна:

$$M_2 = F_{упр2} \cdot R_3 \quad (7)$$

где $F_{упр2}$ – сила упругости пружины 2, Н/м; R_3 – радиус возвратного барабана, м.

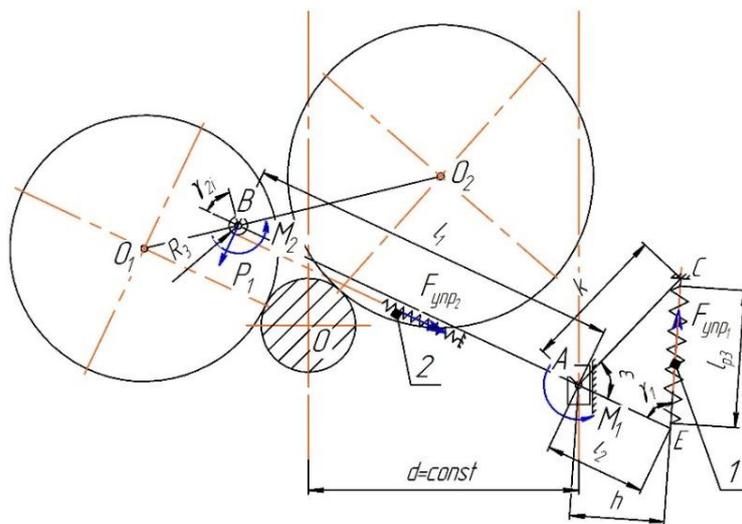
Значение силы упругости пружины 2 определяется по формуле:

$$F_{упр2} = c_2 \cdot \Delta l_4 \quad (8)$$

где c_2 – коэффициент жесткости пружины 2, Н/м; Δl_4 – удельное растяжение пружины, м.

Рисунок 5 – Схема к определению сил и моментов сил, действующих со стороны упругих элементов косилки

где c_2 – коэффициент жесткости пружины 2, Н/м; Δl_4 – удельное растяжение пружины, м.



$$\Delta l_4 = \frac{\pi R_3}{180^\circ} \cdot \gamma_2, \quad (9)$$

где γ_2 – угол поворота поворотной секции и жестко с ней связанного возвратного барабана при проворачивании вокруг штамба дерева, град.

$$\gamma_2 = \gamma_{2i} - \gamma_{2_0}, \quad (10)$$

где γ_{2i} – угол, между поворотной секцией и поворотным рычагом в i – том положении, град; γ_{2_0} – угол между поворотной секцией и поворотным рычагом, необходимый для обеспечения начального устойчивого положения косилки, град.

Подставляя значения (8) и (9) в (7) получаем:

$$M_2 = c_2 \frac{\pi \cdot R_3^2}{180^\circ} (\gamma_{2i} - \gamma_{2_0}), \quad (11)$$

Работа косилки при скашивании растительности в зоне приствольного круга разделена на два основных этапа.

На первом этапе (рис. 6 а, б), после начала контакта предохранительных колес со штамбом дерева проворачивание поворотной секции происходит под действием кинематических связей при поступательном перемещении транспортного средства вдоль линии ряда.

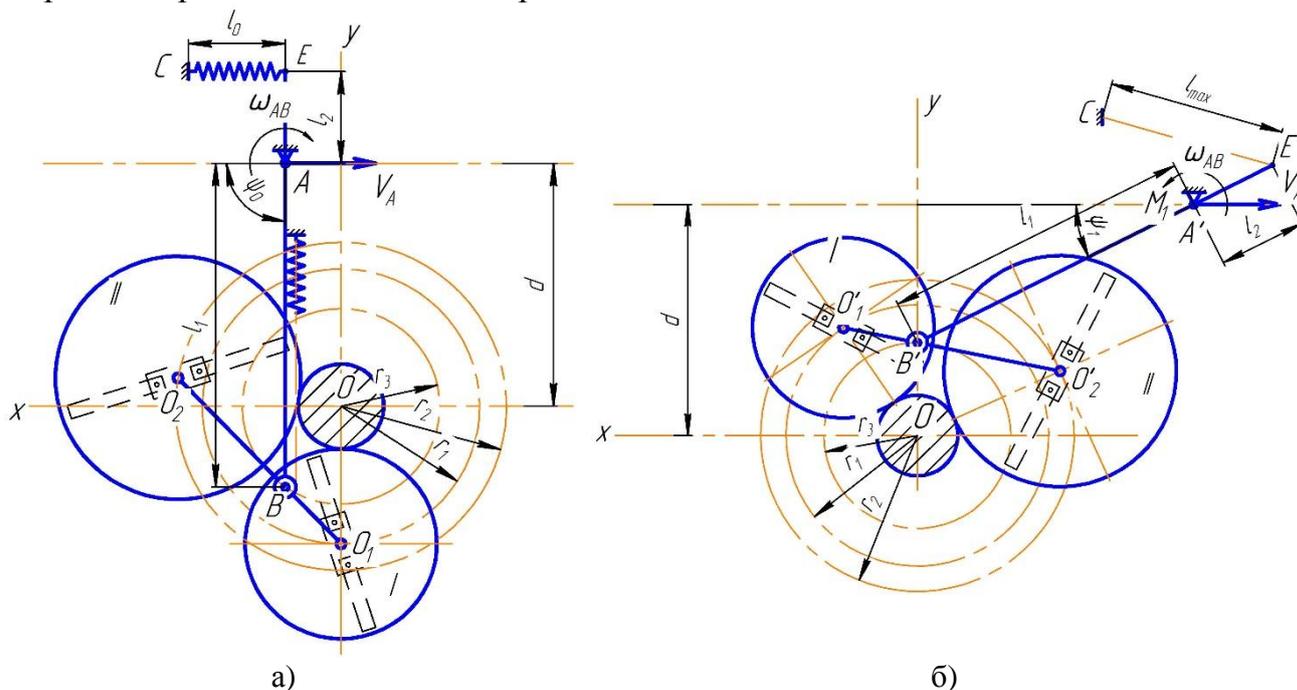


Рисунок 6 – Расчетные схемы косилки на начальном положении первого этапа (а) и в конечном положении первого этапа, начальном положении второго этапа (б).

На данном этапе, отклоняясь от штамба дерева, поворотный рычаг вращается назад, относительно направления движения агрегата, по дуге окружности. Изменение угла, составляемого поворотным рычагом с линией движения агрегата, будет находиться в пределах от $\psi_0 = 90^\circ$ до $\psi_1 = \arcsin(d - r_3)/l_1$.

Величина моментов, создаваемых силами упругости: пружины 1 – в пределах от $M_1 = 0$ до $M_1 = max$; пружины 2 – в пределах от $M_2 = 0$ до M'_2 .

Нормальные силы N_1 , N_2 определяются из уравнений моментов сил относительно центров каждого из роторов в соответствии с расчетной схемой (рис. 7).

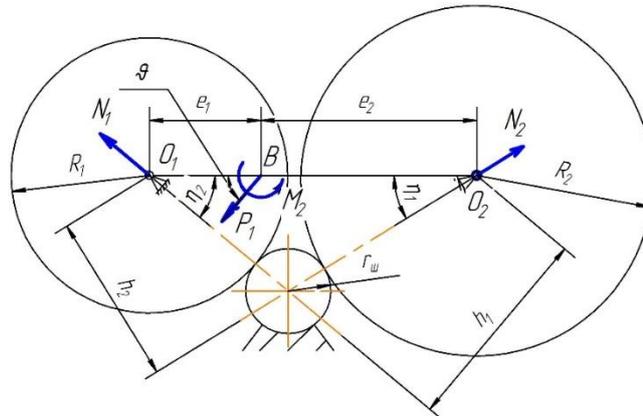


Рисунок 7 – Схема для определения нормальных сил N_1 и N_2 на первом этапе

С учетом выражений (3), (6), (11) получено:

$$N_1 = \left(\frac{c_1 \cdot \Delta l_3 \cdot l_2 \sin \gamma_1}{l_1} \sin \vartheta \cdot e_2 + c_2 \cdot \frac{\pi \cdot R_3^2}{180^\circ} \cdot (\gamma_{2i} - \gamma_{2o}) \right) / h_1; \quad (12)$$

$$N_2 = \left(\frac{c_1 \cdot \Delta l_3 \cdot l_2 \sin \gamma_1}{l_1} \sin \vartheta \cdot e_1 - c_2 \cdot \frac{\pi \cdot R_3^2}{180^\circ} \cdot (\gamma_{2i} - \gamma_{2o}) \right) / h_2. \quad (13)$$

где ϑ – угол, составляемый линией действия силы P_1 с осью поворотной секции, град; e_1 , e_2 – расстояние от оси вращения каждого из роторов 1 и 2, соответственно, до оси крепления поворотного рычага, м; h_1 , h_2 – плечи сил N_1 и N_2 относительно центров роторов 1 и 2 соответственно, м.

В конце первого, начале второго этапа (рис. 6, б) происходит изменение направления вращения поворотного рычага (вперед по направлению движения агрегата по дуге окружности).

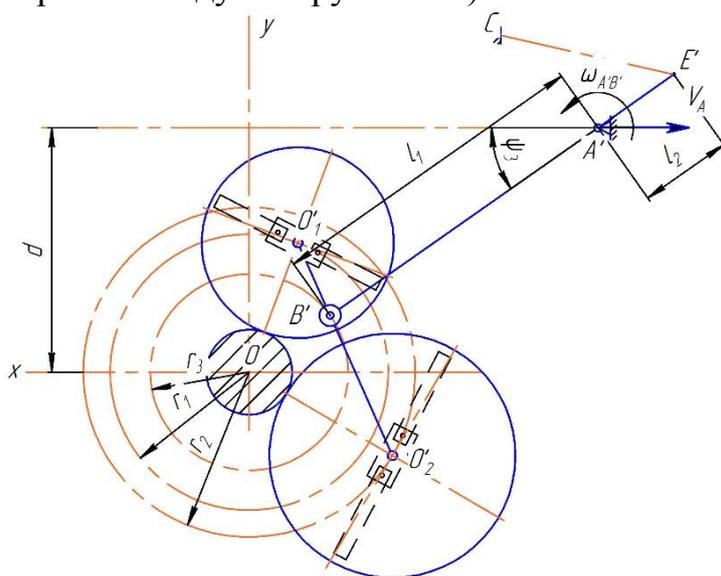


Рисунок 8 – Схема косилки в конечном положении второго этапа

Проворачивание выносной поворотной секции вокруг штамба дерева, при дальнейшем поступательном перемещении косилки вдоль линии ряда, будет осуществляться под действием вращающего момента M_1 , создаваемого упругим элементом 1. Изменение значения угла поворота выносного рычага будет находиться в пределах от ψ_1 до $\psi_2 = \arcsin d / (r_3 + l_1)$, при котором, при дальнейшем поступательном перемещении косилки

вдоль линии ряда, начинается отрыв предохранительного колеса 2 от штамба дерева с последующим возвращением косилки в исходное положение (рис. 8).

Определено условие работоспособности косилки на втором этапе, в соответствии с которым должно соблюдаться требование:

$$\frac{e_1}{l_1} c_1 \cdot \Delta l_3 \cdot l_2 \sin \gamma_1 - c_2 \cdot \frac{\pi R_3^2}{180^\circ} \cdot (\gamma_{2i} - \gamma_{2o}) > 0, \quad (14)$$

Выражения (12), (13) и (14) показывают, что величина сил давления каждого из предохранительных колес на штамп дерева, а, следовательно, и устойчивость контакта поворотной секции со штамбом дерева, зависят от коэффициентов жесткости упругих элементов, входящих в конструкцию косилки, конструктивных параметров косилки и положения поворотной секции относительно штамба дерева.

На рис. 9 представлен график влияния положения поворотной секции относительно штамба дерева и коэффициентов жесткости упругого элемента поворотного рычага на величину давления передаваемого со стороны предохранительного колеса 1 (как наиболее нагруженного) на штамп дерева.

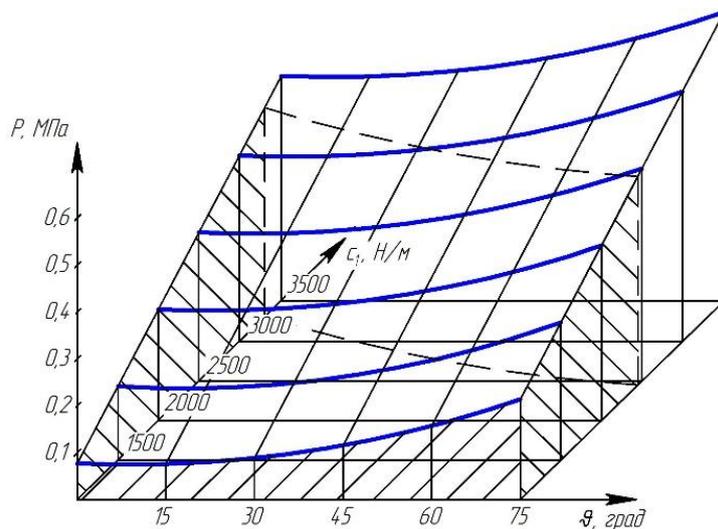


Рисунок 9 – График зависимости величины давления, передаваемого на штамп дерева, от угла поворота ϑ и коэффициента жесткости пружины c_1

В результате расчетов, с использованием выражения (12), позволяющего аналитически оценить влияние характеристик выносной поворотной секции на стабильность протекания технологического процесса, при допустимых нагрузках на штамп дерева получено следующее допустимое значение коэффициента жесткости $c_1 \leq 2480$ Н/м.

Проведено исследование косилки в динамике с использованием уравнений Лагранжа второго рода.

Для схемы косилки, показанной на рис. 10 и представленной в виде плоского механизма с 4-мя степенями свободы, положение звена 3 (нож косилки) в любой момент времени определяется четырьмя независимыми параметрами – обобщенными координатами x_A , φ_1 , φ_2 и φ_3 .

Получено выражение, позволяющее определять расчётное значение максимальной скорости движения агрегата, при обходе штамба дерева, при различных значения угла поворота поворотного рычага φ_1 и допустимой величины силы давления на кору штампоб деревьев N .

$$X_A = \varphi_1 + N \cdot t^2 \cdot \frac{(\frac{m_1}{12} + m_2 + m_3) \cdot BA^2 - m_1 + m_2 + m_3}{2 \cdot (m_1 + m_2 + m_3) \cdot (\frac{m_1}{12} + m_2 + m_3) \cdot BA^2} \quad (15)$$

где m_{1-3} - массы звеньев, кг.

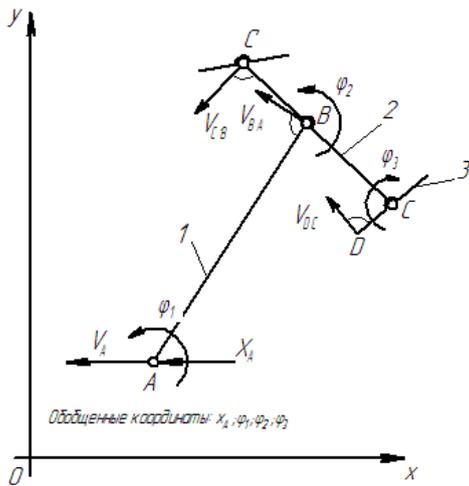


Рисунок 10 – Схема косилки для исследования в динамике

усилий, действующих со стороны элементов поворотной секции на систему «штамб дерева – поворотная секция», зависящих от коэффициентов жесткости упругих элементов, входящих в конструкцию косилки, а также скорости передвижения агрегата.

Требуемые диаметры предохранительных колес D_1 и D_2 , определяются исходя из необходимости обеспечения среза растительности режущими сегментами d_{p1} и d_{p2} с приствольной полосы шириной a как при движении косилки между стволами деревьев, так и при обработке приствольного круга диаметра D_k с учетом их взаимного перекрытия, для исключения огрехов (рис. 11, а). Требуемые диаметры предохранительных колес:

$$D_1 = 0,5(a - d_{ш}); \quad (17)$$

$$D_2 = a + c - D_1, \quad (18)$$

где a – ширина приствольной полосы, м; c – перекрытие роторов необходимое для исключения огрехов, м; $d_{ш}$ – диаметр штамба дерева, м.

Диаметр каждого из роторов с режущими сегментами:

$$d_{p1} = D_1 - 2s; \quad (19)$$

$$d_{p2} = D_2 - 2s, \quad (20)$$

где s – минимально допустимое расстояние между режущим сегментом и штамбом дерева, необходимое для исключения их взаимного повреждения, м.

Начальный угол установки поворотной секции α_0 к направлению движения агрегата определяется по формуле:

$$\alpha_0 = \arccos \frac{r_1^2 + l^2 - r_2^2}{2 \cdot l \cdot r_1}, \quad (21)$$

где l – расстояние между роторами, м.

$$l = 0,5(D_1 + D_2) + \Delta \quad (22)$$

где Δ – величина зазора между предохранительными колесами назначаемая из конструктивных соображений, м.; r_1, r_2 – радиусы направляющих

Получено выражение, позволяющее определять расчётное значение жесткости пружин косилки при различных значениях угла поворотной секции φ_2 , допустимой величины силы давления на кору штамба дерева N и приведенной длины l звена 2.

$$\varphi_2 = \frac{N}{2 \cdot c \cdot l} \cdot e^{-\sqrt{\frac{c \cdot l}{a}} \tau} \cdot (e^{\sqrt{\frac{c \cdot l}{a}} \tau} - 1)^2 \quad (16)$$

Проведенное исследование показало, что на всех этапах обхода штамба дерева, выбор оптимальных параметров, необходимых для обеспечения безотрывного контакта предохранительных колес со штамбом дерева, обуславливается определением величины

окружностей, по которым перемещаются центры роторов с режущими сегментами 1 и 2 при скашивании растительности вокруг штамба дерева, м.

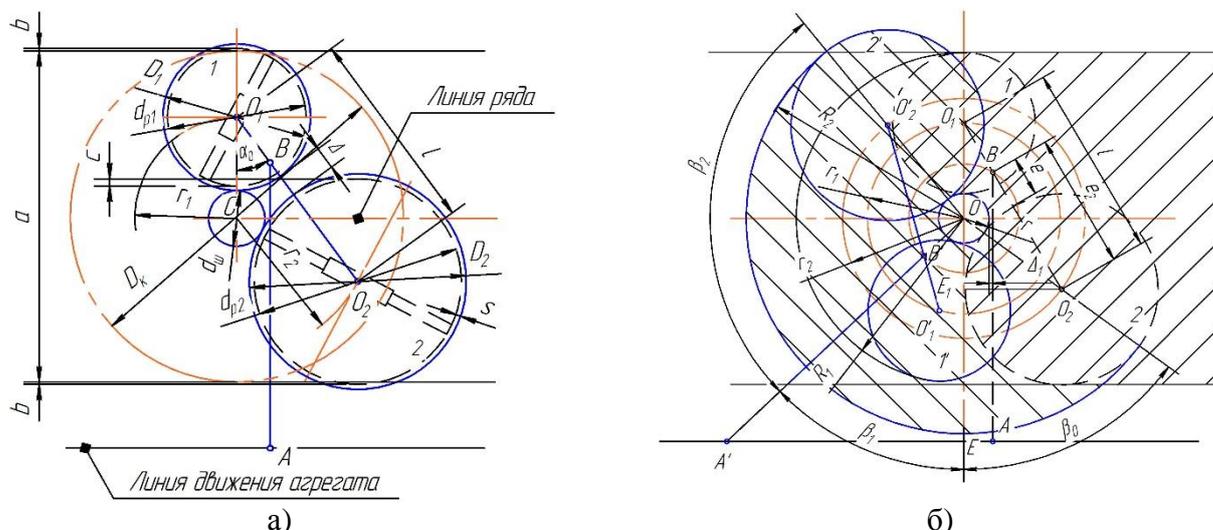


Рисунок 11 – Схемы к определению конструктивных параметров косилки (а) и угла поворота вокруг штамба дерева поворотной секции

Величина угла поворота вокруг штамба дерева поворотной секции (рис. 11, б) определяется как:

$$\beta = \arccos \frac{l \cdot \cos \alpha_0 - 0,5(R_1 + d_{ин})}{r_2} + \arccos \frac{d}{l_1 + r_3} + \arccos \frac{r_3^2 + r_2^2 - e_2^2}{2 \cdot r_3 \cdot r_2} \quad (23)$$

Максимальное смещение оси вращения поворотной секции, при котором $e_2 = \max$ (с соблюдением минимального зазора между поворотным рычагом и штамбом дерева Δ_1) позволяет обеспечить угол поворота, достаточный для полной обработки приствольного круга.

Проведено исследование кинематики режущего аппарата косилки при скашивании растительности вокруг штамба дерева.

Условием работоспособности ротационного режущего органа косилки, при обходе штамба дерева, является соблюдение требования:

$$\omega_1 \leq \omega \frac{h}{\pi \cdot r_2} , \quad (24)$$

где ω_1 – угловая скорость вращения поворотной секции вокруг штамба дерева, c^{-1} ; ω – угловая скорость вращения ротора с режущими сегментами, c^{-1} ; h – длина режущего сегмента, м.

В результате проведенных исследований определены конструктивно-режимные параметры предлагаемой косилки: поступательная скорость до 7,0 км/ч, при угловой скорости вращения ротора с режущими сегментами от 150 до 210 c^{-1} ; значение коэффициента жесткости $c_1 \leq 2480$ Н/м.

В **третьей главе** представлены методика проведения экспериментальных исследований, измерительные средства и результаты исследований.

Для проведения исследований были разработана экспериментальная установка (рис. 12) состоящая из передвижной сварной рамы с установленным на ней электротельфером 1, предназначенным для перемещения по продольным

направляющим 2 каретки 3 с закрепленной на ней косилкой 4 и электродвигателя 5, предназначенного для привода ротационных режущих органов.



Рисунок 12 – Общий вид экспериментальной установки

Для оценивания степени удаления растительности, в приствольной полосе и зоне приствольного круга, использовалась следующая методика. Экспериментальная установка предварительно устанавливалась на испытательном участке (рис. 13, а). После привода экспериментальной установки в действие, производилось скашивание растительности вокруг каждой из вешек имитирующей штамп дерева. Для проведения следующего эксперимента установка перемещалась на новое место в пределах участка, а в обработанной зоне, разбитой на участки каждый площадью 1 м², проводилась оценка агротехнологических показателей (рис. 13, б). Для чего, в обработанной зоне, предварительно собирались и взвешивались срезанные растения. Далее, срезались и взвешивались несрезанные растения и все части растений, расположенные выше установленной высоты среза.



а)



б)

Рисунок 13 – Проведение экспериментальных исследований: скашивание растительности вокруг штамба дерева (а); оценка состояния агрофона (б).

Степень удаления растительности, вычисляли по формуле:

$$K_{уд} = (1 - q_{н.рi} / q_{с.рi}) \cdot 100 \%, \quad (25)$$

где $q_{н.рi}$ – масса несрезанных растений на участке за i -ю повторность, г; $q_{с.рi}$ – масса срезанных растений на участке за i -ю повторность, г.

После фиксирования результатов, изменялись значения факторов и эксперимент повторялся.

Теоретические исследования показали, что наибольшее влияние на степень удаления растительности оказывают: скорость передвижения агрегата; угловая скорость вращения ротационного режущего аппарата; коэффициент жесткости пружины поворотного рычага.

Опыты проводились по плану Бокса-Бенкина. Выбранные факторы и уровни их варьирования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Факторы и уровни их варьирования

Интервал и уровни варьирования факторов	Кодированное значение факторов	Натуральное значение факторов		
		X_1 (V , км/ч)	X_2 (C_1 , Н/м)	X_3 (ω , с ⁻¹)
Интервал варьирования	-	1,79	600	40
Верхний	+1	1,89	1000	140
Нулевой	0	3,68	1600	180
Нижний	-1	5,47	2200	220

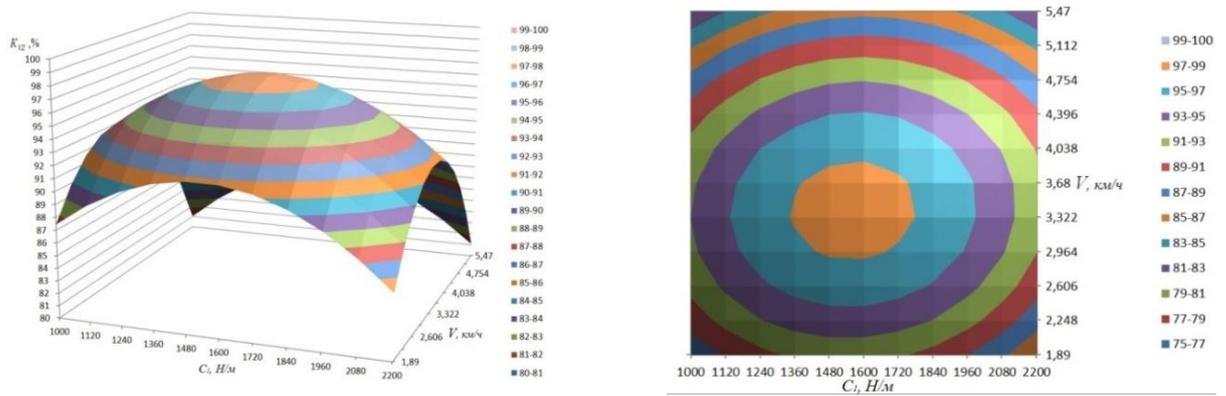
В результате проведения исследований и обработки экспериментальных данных получено следующее уравнение регрессии:

$$K_{уд} = -162,2 + 18,5266V + 0,045C_1 + 1,9817\omega + 0,00056VC_1 - 0,0079V\omega - 2,644V^2 - 0,000015C_1^2 - 0,005\omega^2. \quad (26)$$

Проверка по критерию Фишера показала, что полученное уравнение адекватно.

Построены поверхности откликов (а) и двумерные сечения (б), характеризующие зависимость степени удаления растительности от скорости передвижения агрегата, угловой скорости вращения ротационного режущего аппарата, коэффициента жесткости пружины поворотного рычага (рис. 14, 15, 16).

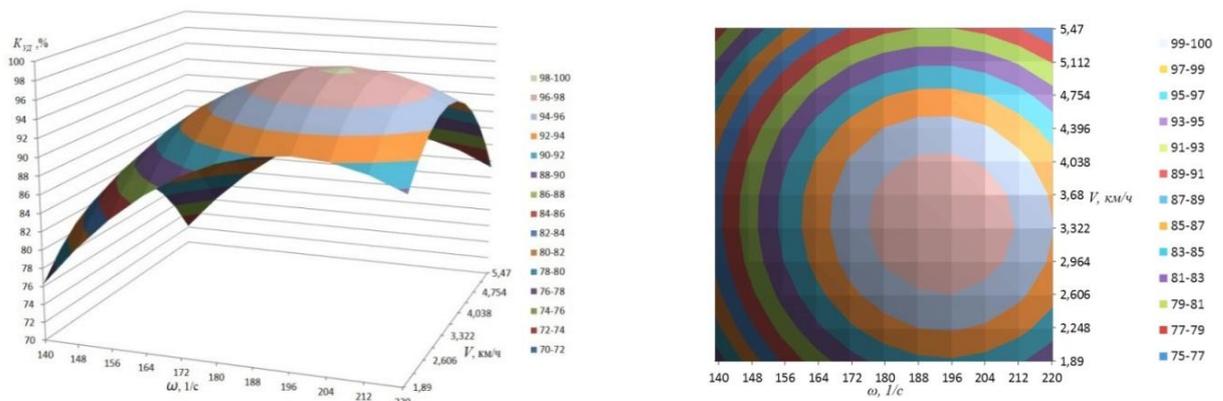
Определены оптимальные значения основных параметров косилки для обработки приствольных полос: скорость передвижения агрегата 3,59 км/ч; угловая скорость вращения роторного рабочего органа 190 с⁻¹; коэффициент жесткости пружины поворотного рычага 1690 Н/м. При этих значениях критерий оптимизации (степень удаления растительности) максимальный и составляет 97,3%.



а)

б)

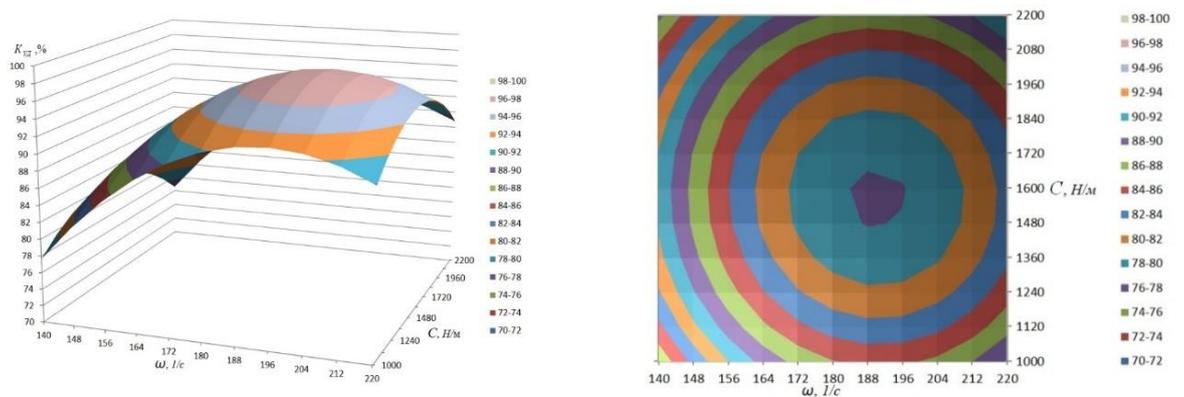
Рисунок 14 – Поверхность отклика (а) и двумерное сечение (б) зависимости степени удаления растительности $K_{уд}$ от скорости передвижения косилки V и коэффициента жесткости пружины c_1 при угловой скорости вращения ротора $\omega = 194 \text{ c}^{-1}$



а)

б)

Рисунок 15 – Поверхность отклика (а) и двумерное сечение (б) зависимости степени удаления растительности $K_{уд}$ от скорости передвижения косилки V и угловой скорости вращения ротора ω при коэффициенте жесткости пружины $c_1 = 1614 \text{ Н/м}$.



а)

б)

Рисунок 16 – Поверхность отклика (а) и двумерное сечение (б) зависимости степени удаления растительности $K_{уд}$ от жесткости пружины c_1 и угловой скорости вращения ротора ω при скорости передвижения косилки $V = 3,38 \text{ км/ч}$.

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований был изготовлен опытный образец косилки для скашивания растительности в приствольной полосе (рис. 17) и проведены его полевые испытания.

В ходе проведенных испытаний установлены работоспособность предлагаемой конструкции косилки и основные ее технико-эксплуатационные показатели: производительность - 0,36 га/ч (за основное время) и 0,26 га/ч (за эксплуатационное время), частота вращения роторов - 2000 мин⁻¹, ширина захвата поворотной секции - 1 м, масса – 57кг.



Рисунок 17 – Общий вид экспериментального образца косилки при обработке приствольной полосы

Результаты проведенных испытаний свидетельствуют о том, что предлагаемая косилка обеспечивает:

- удаление сорной растительности в приствольной полосе плодовых насаждений при однократном проходе агрегата вдоль линии ряда;
- необходимую, в соответствии с агротехническими требованиями, степень удаления растительности в пределах приствольной полосы (97,3%);
- измельчение скошенной массы и распределение ее на поверхности почвы в качестве мульчирующего слоя.

В **четвертой главе** приведена оценка экономической эффективности результатов исследований. Применение предлагаемой косилки в условиях горного и предгорного садоводства в сравнении с существующей технологией позволяет обеспечить годовой экономический эффект в размере 77390 рублей. Срок окупаемости составляет 0,76 лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

1. Разработана конструктивно-технологическая схема косилки для обработки приствольных полос на террасированных склонах, позволяющая полностью удалять растительность в приствольной полосе за один проход агрегата вдоль линии ряда, без повреждения штамбов деревьев.

2. Получены аналитические зависимости, позволяющие определить условия, обеспечивающие обработку всей площади приствольного круга при обходе штамба дерева поворотной секцией, конструктивно-режимные параметры косилки (размеры и угловую скорость вращения режущих сегментов, угловую скорость вращения поворотной секции вокруг штамба дерева, диаметр отбойных колес; начальный угол установки и величину смещения поворотной секции, жесткость упругих элементов, скорость движения).

3. Определены рациональные конструктивно-режимные параметры предлагаемой косилки: поступательная скорость до 7,0 км/ч, при угловой скорости вращения роторов с режущими сегментами от 150 до 210 с⁻¹; коэффициент жесткости упругого элемента поворотного рычага $c_1 \leq 2480$ Н/м.

4. Получены регрессионные модели, позволяющие установить зависимость степени удаления растительности в приствольных полосах плодовых насаждений от скорости передвижения косилки, угловой скорости вращения ротора, коэффициента жесткости пружины и определены оптимальные значения: скорость передвижения косилки (3,38 км/ч), коэффициент жесткости пружины (1614 Н/м), угловая скорость вращения ротора (194 с⁻¹). При этих значениях максимальная степень удаления растительности в зоне приствольного круга плодовых насаждений составляет 97,3%.

5. В ходе проведенных испытаний установлены работоспособность предлагаемой косилки и основные ее технико-эксплуатационные показатели: производительность – 0,36 га/ч (за основное время) и 0,26 га/ч (за эксплуатационное время), частота вращения роторов - 2000 мин⁻¹; ширина захвата поворотной секции - 1 м, масса - 57кг.

6. Реализация предлагаемой косилки позволит обеспечить годовой экономический эффект в размере 77390 рублей. Срок окупаемости составляет 0,76 лет.

Рекомендации производству

Предлагается использовать разработанную косилку для снижения антропогенной нагрузки на многолетние насаждения. Разработанная косилка может быть использована конструкторскими организациями при создании косилок для скашивания травостоя в приствольных полосах многолетних насаждений.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Разработка средств механизации по уходу за многолетними насаждениями для экологически безопасной технологии их возделывания.

Основные положения диссертации опубликованы – в изданиях, индексируемых в Scopus:

1. Polishchuk, E.A. Mathematical model of the operating process of a mower for mowing vegetation in the near-trunk strip / A.K. Apazhev, E.A. Polishchuk // Journal of Physics: Conference Series (JPCS). – 2020. – Vol. 1679.– 042086. – DOI: 10.1088/1742-6596/1679/4/042086.

2. Polishchuk, E. Mathematical model for calculating the parameters of machines for processing neartrunk strips in a terrace / A. Apazhev, A. Egozhev, M. Misirov, E. Polishchuk, A. Egozhev // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 262. – 01019. – DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126201019>.

– в изданиях, рекомендованных ВАК:

3. Полищук, Е.А. Косилка для окашивания штамбов плодовых деревьев / Л.А. Шомахов, А.М. Егожев, А.К. Апажев, Е.А. Полищук // Сельский механизатор. 2016. № 3. С. 17.

4. Полищук, Е.А. Садовая косилка / Л.А. Шомахов, А.М. Егожев, А.К. Апажев, Е.А. Полищук, А.А. Егожев // Сельский механизатор. 2017. № 2. С. 10-11.

5. Полищук, Е.А. Косилка для террасного садоводства / А.М. Егожев, М.Х. Мисиров, Е.А. Полищук, А.А. Егожев // Сельский механизатор. 2018. № 9. С. 10.

6. Полищук, Е.А. Двухроторная косилка для террасного садоводства / А.М. Егожев, Е.А. Полищук, А.А. Егожев // Сельский механизатор. 2019. № 12. С. 8-9.

7. Полищук, Е.А. Математическое моделирование процесса скашивания растительности с приствольных полос плодовых деревьев в садах / А.К. Апажев, Ю.А. Шекихачев, Х.К. Каздохов, Е.А. Полищук // АгроЭкоИнфо. 2020. № 3 (41). С. 20

– в патентах:

8. Пат. 164780 Российская Федерация МПК А01D 34/84 Косилка садовая окашивающая / Л.А. Шомахов, Е.А. Полищук, А.К. Апажев, А.М. Егожев, А.А. Егожев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ. – № 2016110633/13; заявл. 22.03.2016; опуб. 20.09.2016.

9. Пат. 2349073 Российская Федерация МПК А01D А01D 34/00 Механизм навески рабочего органа косилки для окашивания штамбов плодовых деревьев / Х.У. Бугов, Е.А. Полищук, Р.А. Балкаров, В.Н. Бербеков, Л.А. Шомахов, Ю.А. Шекихачев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Кабардино-Балкарская ГСХА. – № 2006136642/11; заявл. 16.10.2006; опуб. 20.03.2009, Бюл. №8.

10. Пат. 2650409 Российская Федерация МПК А01D 34/08 Косилка для окашивания штамбов деревьев / Л.А. Шомахов, Ю.А. Шекихачев, А.М. Егожев, А.К. Апажев, Е.А. Полищук, В.Н. Бербеков, А.У. Заммоев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ. – № 2017129058; заявл. 14.08.2017; опуб. 11.04.2018, Бюл. №11.

11. Пат. 182922 Российская Федерация МПК А01D 34/84 Косилка для приствольной полосы / А.М. Егожев, Е.А. Полищук, А.А. Егожев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ. – № 2018113839; заявл. 16.04.2018; опуб. 06.09.2018.

12. Пат. 185141 Российская Федерация МПК А01D 34/84 Механизм поворота секции окашивающей косилки / А.М. Егожев, Е.А. Полищук, А.А. Егожев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ. – № 2018122535; заявл. 19.06.2018; опуб. 22.11.2018.

13. Пат. 170119 Российская Федерация МПК А01D 34/84 Косилка окашивающая / Л.А. Шомахов, Е.А. Полищук, А.К. Апажев, А.М. Егожев, Ю.А. Шекихачев, А.А. Егожев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ. – № 2017101469; заявл. 17.01.2017; опуб. 14.04.2017, Бюл. №11.

14. Пат. 173053 Российская Федерация МПК А01D 34/84 Косилка окашивающая для молодого сада / Л.А. Шомахов, Ю.А. Шекихачев, А.М. Егожев, А.К. Апажев, Е.А. Полищук, А.У. Заммоев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ. – № 2017119262; заявл. 01.06.2017; опуб. 08.08.2017, Бюл. №22.

15. Пат. 112589 Российская Федерация МПК А01D 34/00 Механизм навески режущего аппарата косилки для окашивания штамбов плодовых деревьев / Л.А. Шомахов, Е.А. Полищук, А.К. Апажев, Х.К. Каздохов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Кабардино-Балкарская ГСХА. – № 2011131201/13; заявл. 26.07.2011; опуб. 20.01.2012, Бюл. №2.

16. Пат. 192794 Российская Федерация МПК А01D 34/84 Окашивающая косилка / А.М. Егожев, А.К. Апажев, Е.А. Полищук, А.А. Егожев; заявитель и патентообладатель

ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ. – № 2019118861; заявл. 17.06.2019; опуб. 01.10.2019.

17. Пат. 197070 Российская Федерация МПК А01D 34/84 Косилка для террасного садоводства / А.М. Егожев, А.К. Апажев, Е.А. Полищук, А.А. Егожев; заявитель и патенто-обладатель ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ. – № 2019140720; заявл. 09.12.2019; опуб. 27.03.2020.

– в монографии:

18. Полищук, Е.А. Комплекс технологий и технических средств возделывания сельскохозяйственных культур в системе органического земледелия с использованием инновационных биологических средств защиты, методов мелиорации и экологизации: монография / А.К. Апажев, Ю.А. Шекихачев, Е.А. Полищук [и др.] – Нальчик, 2020. 216 с. ISBN: 978-5-89125-146-5

– в прочих изданиях:

19. Полищук, Е.А. Системы содержания почвы в садах / Е.А. Полищук // В сборнике: Современные проблемы, перспективы и инновационные тенденции развития аграрной науки. Международная научно-практическая конференция, посвященная 85-летию со дня рождения члена-корреспондента РАСХН, д.в.н., профессора М.М. Джембулатова. 2010. С. 380-382.

20. Полищук, Е.А. Универсальная садовая косилка / А.М. Егожев, Е.А. Полищук // В сборнике: Научное обеспечение инновационного развития агропромышленного комплекса регионов РФ. Материалы международной научно-практической конференции. 2018. С. 497-499.

21. Полищук, Е.А. Окашивающая косилка / А.М. Егожев, Е.А. Полищук, А.А. Егожев // В сборнике: Инженерное обеспечение инновационного развития агропромышленного комплекса России. Сборник научных трудов VIII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Ю.М. Хаширова. 2019. С. 107-109.

22. Полищук, Е.А. Обоснование параметров поворотной секции косилки для террасного садоводства / А.М. Егожев, Е.А. Полищук, А.А. Егожев // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2020. № 2 (28). С. 126-130.

23. Полищук, Е.А. Обоснование динамических параметров окашивающей косилки / А.М. Егожев, Е.А. Полищук, А.А. Егожев // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2020. № 3 (29). С. 113-118.

24. Полищук, Е.А. Параметры и режимы работы ротационной косилки для террасного садоводства / Е.А. Полищук, А.М. Егожев, А.А. Егожев // В сборнике: Экономические, био-техничко-технологические аспекты устойчивого сельского развития в условиях цифровой трансформации. Сборник научных трудов по итогам VII Международной научно-практической конференции памяти Б.Х. Жерукова. Нальчик, 2019. С. 48-51.

Подписано к печати __.__.2022 г.

Бумага офсетная

Печ.л. 1,0

Тираж 100 экз.

Формат 60×84 ¹/₁₆.

Офсетная печать

Заказ №__

Отпечатано в типографии Кабардино-Балкарского ГАУ
360030, Нальчик, пр. Ленина, 1в.