На правах рукописи

Though

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

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Работа выполнена в ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И.Вернадского» Академия биоресурсов и природопользования

Научный

Догода Петр Ануфриевич

руководитель

доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Официальные оппоненты:

Труфляк Евгений Владимирович

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина», заведующий кафедрой «Эксплуатации машинно-тракторного парка»

Лебедев Анатолий Тимофеевич

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», заведующий кафедрой «Технический сервис, стандартизация и метрология»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад — Национальный научный центр РАН»

Защита состоится «30» ноября 2017 г. в часов на заседании диссертационного совета Д 900.006.10 на базе Академии биоресурсов и природопользования ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И.Вернадского» по адресу: 295492, Республика Крым, г. Симферополь, пос. Аграрное, АбиП КФУ им. В.И. Вернадского.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии биоресурсов и природопользования ФГАОУ ВО Крымский федеральный университет имени В.И.Вернадского, на сайте http://cfuv.ru/ и на официальном сайте ВАК РФ http://vak2.ed.gov.ru.

Автореферат разослан «___»

2017 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 900.006.10

Ермолин Дмитрий Владимирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Залужение междурядий с мульчированием приствольных полос является наиболее перспективной системой содержания почвы в интенсивных садах и на виноградниках. Оно способствует сохранению и улучшению физико-механических характеристик почвы. Мульчирование приствольных полос является эффективным агротехнологическим приемом в борьбе с сорной растительностью и позволяет сократить нормы внесения гербицидов, также препятствует испарению влаги, способствует накоплению и удержанию в почве, что особенно актуально для климатических условий Крыма и юга России. Мульчирующий материал перегнивает, выступая в роли органического удобрения, что снижает нормы внесения минеральных удобрений. В качестве мульчирующего материала рационально использовать траву, скошенную в междурядьях. Одним из главных условий применения такой технологии является постоянное скашивание травостоя. Внедрение интенсивной технологии в производство затрудненно из-за отсутствия средств механизации, способных выполнять технологический процесс в соответствии с агротребованиями, обеспечивать качественный срез, измельчение перемещение массы приствольную Работа В полосу. выполнена соответствии с планом НИР КФУ АБиП «Компьютерное моделирование процессов переноса в устройствах переработки сельскохозяйственного сырья» дата регистрации 10.12.2015 г. рег. номер НИОКР: 115121010075 (2015 -2020 гг.) и «Обоснование параметров и режимов работы сельскохозяйственных машин для экологически безопасной технологии возделывания многолетних насаждений» № 0708-2014-0005, пункт 24 (2013-2020 гг.).

Степень разработанности темы. Вопросами механизации производства продукции садов и виноградников занимаются ФГБУН «Ордена Трудового Красного Знамени НБС – ННЦ РАН», ФГБОУ ВО «КГАУ им. И.Т. ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный Трубилина», 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. Академики В.П. Горячкин, Ишлинский; профессора, В.А. Желиговский, В.И. Фомин, Ю.Ф. Новиков и другие отечественные ученые, а также зарубежные – Чанселор У., Принц Р., МакРендал Д. и МакНалти П. занимались изучением вопроса бесподпорного среза растений. Однако, в трудах данных ученых не рассматривается проблема полеглого И ототкмицп травостоя, его одновременной транспортировкой в приствольную полосу. Поэтому данная проблема остается открытой как для научно-исследовательских организаций, так и для конструкторских бюро ведущих производителей машин.

Цель и задачи исследования: 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 и перемещения 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.

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 № 157023 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.
- 5. Результаты исследований использованы при создании новых косилок для скашивания травостоя в садах и на виноградниках.

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.

Степень достоверности работы. Достоверность основных положений и подтверждается использованием современной контрольновыводов соблюдением методик, измерительной вычислительной техники, изложенных обработкой В действующих стандартах, статистической экспериментальных данных, согласованностью теоретических экспериментальных исследований.

Апробация работы. Результаты работы были доложены, обсуждены и получили положительную оценку на международных научно-технических конференциях в Польше, Болгарии, Чехии, России, Украине, международной выставке «Агро Экспо Крым» 2013-2016 гг.; Всероссийских научно-практических конференциях в г. Симферополь, г. Ялта, г. Махачкала, п. Техникумовский; конференциях профессорско-преподавательского состава КФУ АБиП 2012–2017 гг. Результаты научных исследований были представлены на фестивале науки и научных выставках ФГАОУ ВО КФУ 2014–2016 гг. и отмечены дипломами первой степени в номинации «Лучшая конструкторская разработка КФУ» и «Лучший научный проект КФУ АБиП».

Публикации. По материалам исследований опубликовано 15 печатных работ, в том числе 7 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ и два патента РФ на полезную модель: № 157023 от 20.11.2015 и № 173262 от 21.08.2017. Общий объем опубликованных работ составляет 4,94 п.л., из которого личная доля автора составляет 3,6 п.л.

Реализация результатов исследований. Результаты исследований приняты для продолжения опытно-конструкторских работ в плане реализации серийного производства косилок на базе Научно-производственного

сельскохозяйственного предприятия «Наука» (г. Симферополь). Результаты исследований позволят совершенствовать интенсивные технологии возделывания садов и виноградников. Разработанная косилка является частью комплекса машин, обеспечивающего экологически безопасную технологию возделывания и уборки садов и виноградников. Изготовлено и внедрено четыре косилки в хозяйствах Крыма.

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 источников и приложение. Работа изложена на 163 страницах машинописного текста, содержит 60 рисунок и 17 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, ее научная и практическая значимость, сформулированы рабочая и научная гипотеза, изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлены исходные положения и результаты анализа существующих средств и способов скашивания травостоя, обзор исследований и разработок отечественных и зарубежных фирм, дана сравнительная характеристика различных способов содержания почвы в междурядьях садов и виноградников. Проведен критический анализ существующих теоретических исследований конструктивно-технологических параметров ротационных режущих аппаратов.

Конструктивный расчет спирального кожуха косилки, исследование воздушного потока, создаваемого ножами ротора, и взаимодействия скошенного стебля с лопастью, установленной на ноже, позволит определить геометрические и конструктивные параметры рабочего органа, обеспечивающие подъём смятых стеблей, их срез и транспортировку в приствольную полосу.

Во второй главе представлены результаты теоретических исследований характера течения воздуха внутри кожуха косилки, исследований процесса взаимодействия скошенного стебля и лопасти, установленной на ноже косилки, определены конструктивные параметры кожуха косилки, дана теоретическая оценка процесса перемещения травостоя из междурядья в приствольную полосу.

Предлагаемая конструкция косилки (рис. 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 рабочих органов механический от ВОМ трактора

через карданный вал и систему конических редукторов (2). Ножи (6) установлены шарнирно и способны отклоняться при встрече с посторонними предметами. Ножи снабжены лопастями (7). Боковые противорезы (9), способствуют измельчению и исключают забивание рабочих органов скошенными растениями. В кожухе имеются выходные отверстия (8).

Технологический процесс происходит следующим движении агрегата по междурядью зеленая масса скашивается и измельчается. При вращении ножей с установленными на них лопастями возбуждается воздушный поток, который поднимает примятый травостой, способствуя Скошенный стебель улучшенному качеству кошения. под действием центробежной силы получает ускорение и сходит с лопасти. Геометрия направляет воздушно-травяной поток выходное В отверстие, направляя измельченную массу в приствольную полосу.

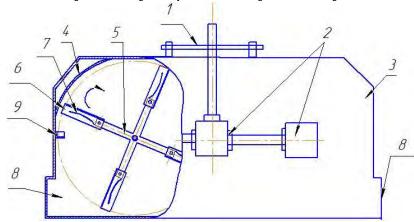


Рисунок 1 — Схема косилки для скашивания травостоя и мульчирования приствольных полос

Рабочая гипотеза предполагает, что при вращении ротора лопасти, установленные на ножах, сталкиваются с воздухом, при этом поток воздуха тормозится и изменяет направление движения, обтекая её (рис. 2).

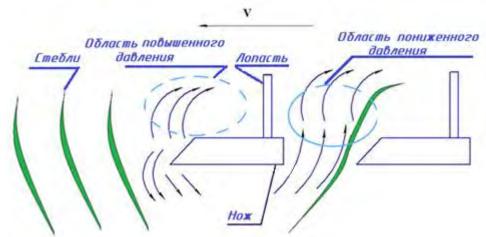


Рисунок 2 – Схема движения воздуха при соприкосновении с лопастью

Впереди лопасти возникает область с повышенным давлением воздуха, а позади – с пониженным. 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, укладывая их на нож.

Для реализации поставленной задачи были исследованы три варианта конструкции ножей (рис. 3). Нож с прямолинейной радиальной лопастью (рис. 3a), с прямолинейной лопастью, отогнутой назад (рис. 3б) и с криволинейной лопастью, отогнутой назад (рис. 3в).

Для построения профиля лопасти, установленной на ноже, необходимо определить её основные конструктивные параметры: углы кривизны (α_1 – угол входа, α_2 – угол выхода), радиус кривизны лопастей R и радиус R_0 окружности центров лопастей (рис. 3г).

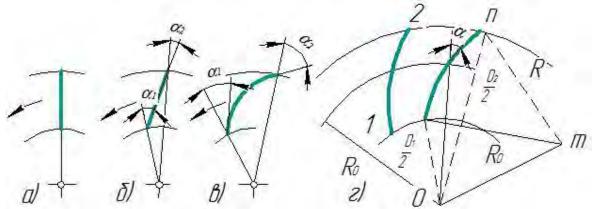


Рисунок 3 — Формы лопастей в зависимости от угла выхода α_2 и геометрические параметры лопасти

После среза ножом стебель входит в соприкосновение с лопастью и движется вдоль неё. Стебель разгоняется под действием центробежной силы и сходит с лопасти (рис. 4).

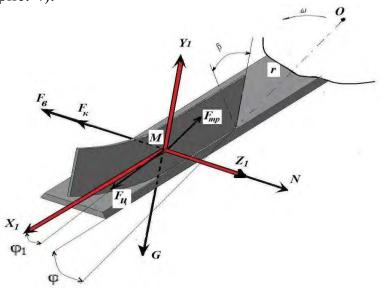


Рисунок 4 — Схема сил, действующих на стебель, движущийся по лопасти (где ϕ_1 — переменный угол между направлением центробежной силы и осью x_1 , рад. (угол ϕ_1 будет изменяться от α_1 до α_2 и отображает кривизну лопасти); ϕ — угол радиального отклонения ножа, рад.; β — угол наклона лопасти, рад.)

На частицу, которая перемещается по поверхности лопасти, действуют следующие силы: сила сопротивления воздуха $\overline{F}_{\scriptscriptstyle I\!\!I}$, действующая в плоскости вращения и направленная перпендикулярно радиусу ротора; центробежная сила инерции $\overline{F}_{\scriptscriptstyle I\!\!I}$, действующая по радиальному от оси вращения направлению; сила тяжести \overline{G} , направленная вертикально вниз; реакция опоры \overline{N} , перпендикулярная лопасти; сила трения $\overline{F}_{\scriptscriptstyle I\!\!I}$, действующая в плоскости лопасти и направленная противоположно относительной скорости частицы; сила Кориолиса $\overline{F}_{\scriptscriptstyle I\!\!I}$, перпендикулярная вектору относительной скорости (лопасти).

Уравнение движения стебля по лопасти в векторной форме имеет вид:

$$m\overline{a} = \overline{F}_{u} + \overline{F}_{mp} + \overline{F}_{B} + \overline{F}_{\kappa} + \overline{G} + \overline{N}, \qquad (1)$$

где m – масса стебля, кг; a – ускорение стебля, м/ c^2 .

Разложим уравнение (1) по осям:

$$ma_{x1} = F_{\theta} \sin \varphi + F_{u} \cdot \cos \varphi_{1} - F_{mp} \cdot \cos \delta ,$$

$$ma_{y1} = -G \sin \beta + F_{\theta} \sin \varphi \cdot \cos \beta + F_{u} \sin \varphi_{1} \cdot \cos \beta - F_{\kappa} \sin \delta - F_{mp} \sin \delta ,$$

$$ma_{z1} = -G \cos \beta - F_{\theta} \sin \beta \cdot \cos \varphi + F_{u} \sin \beta \cdot \sin \varphi_{1} - F_{\kappa} \cos \delta + N .$$
(2)

После ряда преобразований получим систему дифференциальных уравнений (3) движения стебля по лопасти в координатах X_I , Y_I .

$$\begin{vmatrix} x_1'' = k_n \cdot \omega^2 \cdot \left(r + x_1 \cos(\varphi)\right)^2 \cdot \left(\sin(\varphi) - f \cdot \cos(\varphi) \cdot \sin(\beta) \cdot \frac{x_1'}{\sqrt{(x_1')^2 + (y_1')^2}}\right) + \\ + \omega^2 \cdot \left(r + \frac{x_1 \cos(\varphi)}{\cos(\varphi - \varphi_1)}\right) \cdot \left(\cos(\varphi_1) + f \sin(\varphi_1) \cdot \sin(\beta) \cdot \frac{x_1'}{\sqrt{(x_1')^2 + (y_1')^2}}\right) - \\ f \cdot g \cdot \cos(\beta) \cdot \frac{x_1'}{\sqrt{(x_1')^2 + (y_1')^2}} - 2 \cdot f \cdot \omega \cdot \frac{x_1'}{\sqrt{(x_1')^2 + (y_1')^2}} \\ y_1'' = k_n \cdot \omega^2 \cdot \left(r + x_1 \cos(\varphi)\right)^2 \cdot \left(\sin(\varphi) \cdot \cos(\beta) - f \sin(\varphi_1) \cdot \sin(\beta) \cdot \frac{y_1'}{\sqrt{(x_1')^2 + (y_1')^2}}\right) + \\ + \omega^2 \cdot \left(r + \frac{x_1 \cos(\varphi)}{\cos(\varphi - \varphi_1)}\right) \cdot \sin(\varphi_1) \cdot \left(\cos(\beta) + f \cdot \sin(\beta) \cdot \frac{y_1'}{\sqrt{(x_1')^2 + (y_1')^2}}\right) - \\ - g \cdot \left(\sin(\beta) + f \cdot \cos(\beta) \cdot \frac{y_1'}{\sqrt{(x_1')^2 + (y_1')^2}}\right) - 2 \cdot \omega \cdot y' (1 + f \cdot \cos(\varphi)) \end{aligned}$$
(3)

Было проведено численное моделирование параметров процесса движения срезанного стебля по лопасти с помощью программного обеспечения Mathcad.

Решение системы уравнений (3) методом Рунге-Кутты с переменным шагом позволило получить зависимости изменения кинематических параметров стебля, движущегося по лопасти и в момент схода с неё, от

конструктивных параметров лопасти, что дает возможность проследить траекторию и скорость движения частицы (рис. 5).

Результаты численного моделирования выражения (3) для трех видов лопастей представлены графически (рис. 5, 6). Моделировались различные случаи движения частицы по лопасти в зависимости от начального угла установки лопасти α_1 .

Для прямолинейной радиальной лопасти угол φ_I =0. Для прямолинейной отклоненной назад лопасти была установлена зависимость изменения угла φ_I от времени t:

$$\phi_{1} = a \sin \left(\frac{D_{1}}{\left(D_{1} + 2\left(10.7 \tan\left(\frac{t^{1.8}}{0.8}\right)\right) \cdot \sin\left(\alpha_{1}\right)} \right), \tag{4}$$

где D_I — внутренний диаметр лопастного колеса, (диаметр начала установки лопасти D_I = 2r = 0,6 м); t — время движения стебля по лопасти, c; α_I — угол входа (рис. 3), рад.

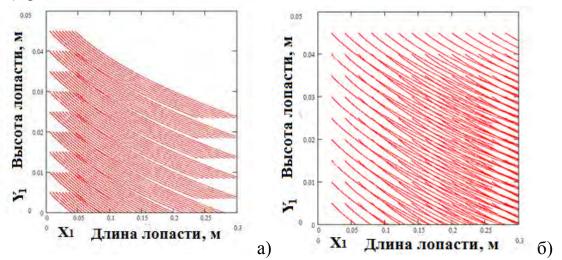


Рисунок 5 — Траектория движения частиц по лопасти: a) в начале лопасти, б) обобщенный массив

Для криволинейной лопасти была определена зависимость изменения угла φ_1 по времени (от α_1 до α_2):

$$\alpha_{1} = a \sin \left[\frac{D_{1}^{2} - \left(D_{1} + 2\left(10.7 \tan\left(\frac{t^{1.8}}{0.8}\right)\right)\right)^{2}}{4D_{1} \left(\frac{D_{1} + 2\left(10.7 \tan\left(\frac{t^{1.8}}{0.8}\right)\right) - \sin \alpha_{2} + \sqrt{\left(D_{1} + 2\left(10.7 \tan\left(\frac{t}{0.8}\right)\right)\right)^{2} - \sin \alpha_{2}}}{2} \right) - \frac{1}{4D_{1} \left(\frac{-\left(D_{1} + 2\left(10.7 \tan\left(\frac{t}{0.8}\right)\right)\right)^{2} + 4R_{0}^{2}}{2}\right) + \frac{D_{2}}{D_{1}} - \sin \alpha_{2}}{2} \right) - \frac{1}{4D_{1} \left(\frac{-\left(D_{1} + 2\left(10.7 \tan\left(\frac{t}{0.8}\right)\right)\right)^{2} + 4R_{0}^{2}}{2}\right) - \frac{1}{4D_{1} \left(\frac{D_{1} + 2\left(10.7 \tan\left(\frac{t}{0.8}\right)\right)^{2} + 4R_{0}^{2}}{2}$$

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 (рис. 4) $D_2 = 1,2$ м).

С учетом полученного выражения моделируем различные случаи движения частицы по лопасти в зависимости от начального угла установки лопасти α_1 (рис. 6).

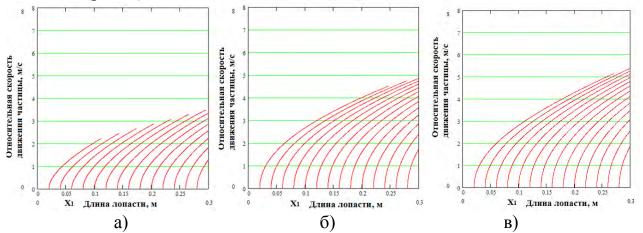


Рисунок 6 — Зависимость изменения относительной скорости движения стебля: а) прямолинейная радиальная лопасть, б) прямолинейная, отклоненная назад лопасть, в) криволинейная лопасть

Для решения поставленной задачи по определению характера течения воздуха в проточной части косилки, построения профиля и величины скорости воздуха в ее выходном сечении была разработана 3D расчетная конечно-элементная модель косилки.

Для решения задачи, в которой сопряжены вращающаяся и неподвижная области, использована модель *Multiple Reference Frame*, которая позволяет получить решение для вращающегося ротора косилки в заданный момент его положения в пространстве.

Решение проводили для 4-х положений лопасти по отношению к сечению выхода. Эти положения перекрывают диапазон возможных изменений

состояния поля скоростей в сечении выхода и позволяют получить усредненные оценки как профилей, так и величин скорости.

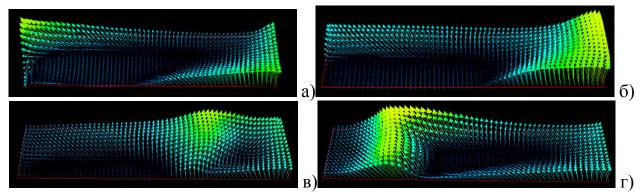
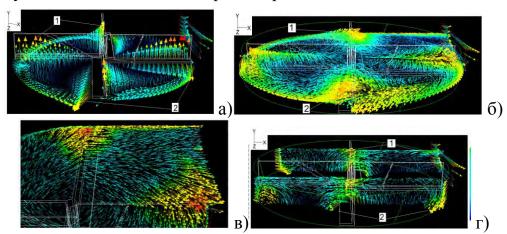


Рисунок 7 — Векторное поле скорости воздуха в сечении выхода а) лопасть параллельна сечению выхода; б) лопасть под углом 22,5° к сечению выхода; в) лопасть под углом 45° к сечению выхода; г) лопасть под углом 67,5° к сечению выхода

Из анализа векторных картин (рис. 7, 8) 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 созданию условий для их бесподпорного среза.



1 — области восходящих потоков; 2 — области нисходящих потоков Рисунок 8 — Векторное поле скоростей в различных сечениях ротора: а), б), в) в горизонтальных сечениях при у =0 мм, у = 75 мм, у = 149 мм соответственно; г) вертикальном сечении на расстоянии 300 мм от оси вращения.

Средняя скорость истечения воздуха из выходного сечения расчетной модели косилки достигает 16,8 м/с, максимальная — колеблется в пределах 45—50 м/с. Численный анализ движения воздуха в проточной части косилки показал, что высокая скорость потока воздуха на выходе обеспечивает дополнительный выброс скошенной массы из 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.

Было составлено и разложено по осям уравнение движения частицы после вылета из выходного отверстия косилки в векторном виде (ось x – горизонтальная и ось y – вертикальная):

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

$$y'' + g - k_n (y')^2 = 0,$$
(6)

где $V_{B\Pi}$ — скорость воздушного потока, образованного ротором косилки, м/с; g — ускорение свободного падения, м/с²; k_n — коэффициент парусности.

Скорость воздушного потока ($V_{B\Pi}$) не будет постоянной, т.к. после вылета из кожуха косилки воздушный поток, создаваемый ротором, будет являться свободной и затопленной струёй. Скорость потока (V_x) на расстоянии x от выходного отверстия можно определить по формулам, полученным Г.Н. Абрамовичем:

$$V_{x} = \frac{0.96}{\frac{a \cdot x}{d_{H}/2} + 0.29} \cdot V_{BH}, \tag{7}$$

где a — опытный коэффициент, a=0,7—0,8; $d_{\scriptscriptstyle H}$ — эквивалентный диаметр выходного отверстия, м.

Численное моделирование параметров процесса движения стебля в затопленной струе после её вылета из кожуха косилки было проведено с помощью программного обеспечения Mathcad. Решение системы уравнений (6) с учетом зависимости (7) методом Рунге-Кутты с переменным шагом позволило получить зависимости характера движения частицы, движущейся в воздушном потоке при различных начальных условиях движения, что дает возможность проследить изменение скорости и траектории движения частицы (рис. 9).

Как видно из приведенных кривых на графике (рис. 9), воздушный поток, существенно влияет на дальность полета скошенной и измельченной массы. позволяет обеспечить необходимую дальность полета частиц от выходного отверстия косилки в приствольную полосу.

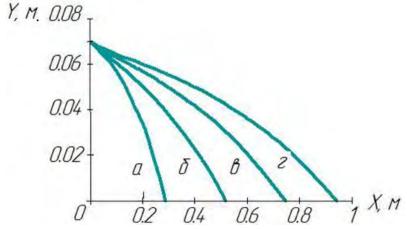


Рисунок 9 – Траектория движения частицы, м:

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

По результатам исследований, приведенных во втором разделе, можно заключить, что рациональным будет выбор криволинейного, отогнутого назад профиля для лопастей, устанавливаемых на ножах.

Учитывая режимы работы, конструктивные и технологические особенности были определены следующие параметры для построении кожуха косилки согласно ГОСТ 5976-90: A_{κ} =0,55 м; a=0,137 м; R_{I} =0,86 м; R_{2} =0,73 м; R_{3} =0,59 м; L=1,59 м; M=1,326 м (рис. 10).

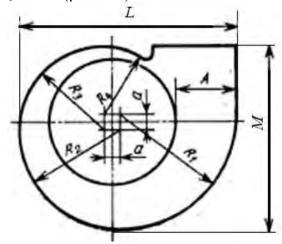


Рисунок 10 – Схема спирального кожуха

В третьей главе изложены цели и методы проведения экспериментальных исследований, приведены схемы полевых опытов и образцов аппаратуры и оборудования, описаны применяемые измерительные приборы и представлен план многофакторного эксперимента.

Была изготовлена лабораторная установка, позволяющая определить скорость воздушного потока, создаваемого рабочим органом косилки (рис. 11). Лабораторная установка работала от аккумуляторной батареи через реостат, который позволял регулировать число оборотов.

Предварительные лабораторные исследования проводились с целью проверки выдвинутой гипотезы о возможности выноса скошенных и измельченных стеблей растений из кожуха косилки в приствольную полосу за счет воздушного потока, создаваемого ножами ротора.

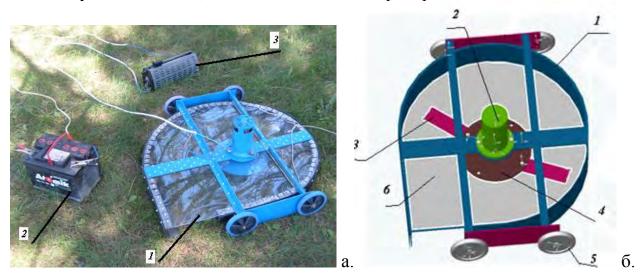


Рисунок 11 — Лабораторная установка: а — общий вид, (1 — косилка, 2 — источник тока (АКБ), 3 — реостат); б — графическая модель, (1 — кожух, 2 — электродвигатель постоянного тока 12 В, 3 — ножи, 4 — ротор, 5 — опорные колеса, 6 — верхняя часть кожуха)

Для экспериментов по второму и третьему варианту были изготовлены несколько образцов ножей с установленными на них лопастями одинаковой высоты, но с различными углами α_1 и α_2 , определяющими положение и геометрическую форму. Целью исследований являлась проверка влияния формы лопастей на скорость воздушного потока, создаваемого ротором при работе косилки.

Скорость потока ($V_{B\Pi}$, м/с) определялась в сечении выходного отверстия кожуха косилки. Так как скорость потока в измеряемом сечении неравномерна, то проводились измерения в различных точках и определялась средняя скорость.

Проведенные опыты по определению скорости воздушного потока показали, что наибольшее значение скорости достигается при использовании криволинейных лопастей на ножах.

В результате лабораторных исследований подтвердилась гипотеза о возрастании воздушного потока за счет установки лопастей на ножах рабочего органа косилки, а скорость воздушного потока на выходе из кожуха косилки является достаточной для транспортировки измельченной массы в приствольную полосу.

Для проверки и уточнения геометрических параметров лопасти, обеспечивающих дальность вылета скошенной массы, были проведены лабораторно-полевые исследования с использованием изготовленного экспериментального образца косилки (рис. 15).

Для проверки теоретических исследований при проведении лабораторнополевых исследований была выбрана модель двухфакторного трехуровневого скашиванию эксперимента. Опыты ПО и транспортировки проводились последовательно косилкой с рабочим органом, снабженным ножами с установленными на них лопастями с различной высотой h, кривизны соответствующей различным фактору x_2 И углом соответствующему фактору x_1 . При прокосе травостоя вдоль улавливающей плоскости определялась дальность полета измельченной массы.

Улавливающая плоскость выполнена из агроволокна 3х1,7 м и разделена на квадраты 0,05х0,05 м 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 0,01 м на ширине 0,1 м производились выборки скошенной массы и фиксировалось расстояние от зоны прокоса. За дальность вылета принималась дальность—ширина полосы на улавливающей плоскости, содержащая не менее 85 % срезанных стеблей от общей их массы.

Для определения качественных показателей кошения травостоя при использовании серийного рабочего органа и рабочего органа с дополнительно установленными лопастями на ножах были проведены полевые исследования. За основной показатель качества кошения принята высота среза стеблей в пределах 0,07–0,09 м. Среднестатистическая высота растений определялась в соответствии с ОСТ 70.82-74.

В четвертой главе представлены экспериментальные данные, полученные в ходе лабораторно-полевых исследований.

В соответствии с планом экспериментальных исследований был проведен ряд опытов по скашиванию травостоя в зависимости от конструктивных параметров рабочего органа косилки. Расчет коэффициентов регрессии позволил получить уравнение (8) в кодированных переменных:

$$y = 0.354 + 0.1x_1 + 0.08x_2 - 0.035x_1^2 - 0.037x_2^2 + 0.047x_1x_2,$$
 (8)

Все коэффициенты уравнения проверены на значимость по t-критерию Стьюдента на уровне вероятности 0,95. Проверка адекватности данной модели проводилась по F-критерию. Расчетные значения критерия Фишера оказались меньше табличного при уровне значимости 5%, что свидетельствует об адекватности полученной модели. Из этого можно сделать вывод, что факторы, закодированные под переменными, влияют на протекание процесса перемещения скошенной массы из кожуха косилки.

После раскодировки было получено следующее уравнение (9):

$$L = -0.455 + 0.017\alpha_1 + 0.014h - 0.0003\alpha_1^2 - 0.0002h^2 + 0.4275\alpha_1h, \quad (9)$$

где α_I – угол кривизны лопасти, град; h – высота лопасти, м; L – дальность вылета частицы из кожуха косилки, м.

На основании опытных данных построена поверхность отклика по дальности вылета скошенной массы из кожуха косилки (рис. 12).

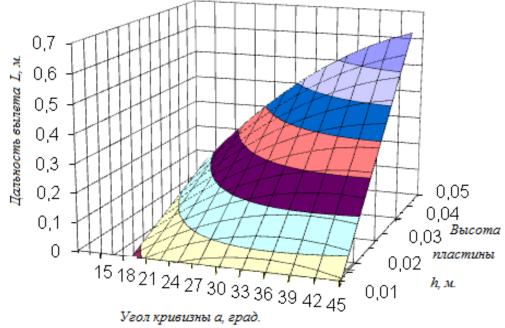


Рисунок 12 – Зависимость дальности вылета скошенной массы от угла кривизны и высоты лопастей, установленных на ножах рабочего органа

На рисунке 13 представлены зависимости дальности вылета частицы (L) от угла кривизны (a_l) отдельно при различной высоте лопасти (h).

Как видно из анализа результатов проведенных экспериментов, необходимая минимальная дальность вылета частицы из кожуха косилки (L=0,35 м) достигается при высоте лопасти от 0,035 м и выше.

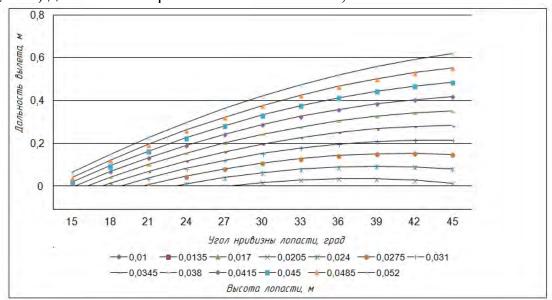


Рисунок 13 — Зависимость дальности вылета частицы (L) от угла кривизны (α) при различной высоте лопасти (h)

Увеличение угла кривизны лопасти (α_I) 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), неодинакова для различных значений высоты лопасти (h), это обусловлено взаимодействием двух факторов, определенных при анализе коэффициентов регрессии (9).

По результатам проведенных лабораторно—полевых исследований были определены следующие конструктивные параметры криволинейных лопастей, установленных на ножах рабочего органа косилки: высота лопасти — h=0,038м, углы кривизны — α_1 ≈43°, α_2 ≈11°, радиус кривизны — R=0,183м, радиус окружности центров лопастей — R_0 =0,54м. Результаты проведенных экспериментов подтверждают теоретические данные по определению параметров рабочего органа косилки.

Результаты исследований по определению качества при кошении травостоя усовершенствованным и существующим рабочим органом представлены в таблице 1.

Количество пропущенных, несрезанных стеблей новым рабочим органом снизилось с 21 до 3 %; срез стерни более чистый и равномерный.

По результатам проведенных теоретических и экспериментальных исследований был изготовлен опытный образец косилки для скашивания сидератов в междурядьях садов и виноградников с одновременным мульчированием приствольных полос (рис. 14).

Таблица 1 – Результаты исследований по определению качества среза травостоя

	Единицы	Существующий	Разработанный
Показатель	измерения	рабочий орган	рабочий орган
Скошенные стебли	%	79	97
(высота среза до 10 см)	шт/м²	3827	4700
Частично срезанные стебли	%	16,5	1
(высота среза от 10 до 15 см)	шт/м ²	795	55
Пропущенные стебли	%	4,5	2
(высота среза более 15 см)	шт/м ²	223	91





Рисунок 14 – Пропущенные стебли при кошении серийным рабочим органом: а – нескошенные стебли; б – частично скошенные

Производственные испытания косилки проводились в ООО «Сады Бахчисарая» (Республика Крым). Интенсивный сад 2005 г. посадки с междурядьями 3 м. Свободная часть междурядий засажена многолетними травами, приствольные полосы с шириной 0,5 м по каждую сторону ряда по технологии обрабатываются агрохимикатами (гербицидами), стыки гербицидного пара и залужения обрабатываются фрезой.



Рисунок 15 – Экспериментальный образец косилки

В ходе производственных испытаний были получены следующие результаты: косилка обеспечивает скашивание, измельчение травостоя и перемещение его в приствольную полосу; при высоте среза 0,08 м полнота скашивания составляет не менее 97%; размер измельченных частиц — 0,06 м, скорость движения агрегата — в пределах 5—7 км/ч.

Экспериментально подтверждено, что наличие криволинейных лопастей на ножах рабочего органа косилки и кожуха в форме улитки позволяет перемещать скошенный в междурядьях садов и виноградников травостой в приствольные полосы.

В пятой главе дана экологическая, экономическая и энергетическая оценка внедрения косилки для ухода за междурядьями садов и виноградников, приведена методика расчетов её эффективности.

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, однако с учетом работы за весь период технологического цикла видна эффективность применения разработанной косилки под условной маркой КВР-М на 29,3 % или на 982,31 МДж/га. Кроме того, при использовании новой косилки затраты, приходящиеся на единицу продукции, снижаются на 29,74 %. Антропогенная нагрузка кошения сидератов в междурядьях садов и на виноградниках по сравниваемым косилкам составила 59 и 42 % от допустимой.

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

Экономический эффект от внедрения новой машины составляет 7963,43 руб./га без учета изменения количества получаемой продукции, срок окупаемости машины – 1,06 года при производственном объеме в 20 га.

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 $\alpha_1 \approx 43^\circ$, $\alpha_2 \approx 11^\circ$, 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 20га.

Рекомендации производству

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

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

Перспективы дальнейшей разработки темы

Разработка средств механизации по уходу за междурядьями многолетних насаждений для экологически безопасной технологии возделывания.

Основные положения диссертации опубликованы

- в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:
- 1. Красовский, В.В. Анализ существующих теорий работы ротационного режущего аппарата косилки для скашивания сидератов в междурядьях многолетних насаждений / В.В. Красовский, П.А. Догода // Науч. тр. Юф НУБиПУ "КАТУ". Серия: Технические науки. Симферополь, 2013. Вып. 153. С. 164–175.
- 2. Красовский, В.В. Методика и результаты проведения лабораторных исследований воздушного потока, создаваемого экспериментальным рабочим органом косилки-измельчителя / В.В. Красовский, П.А. Догода // Науч. тр. Юф НУБиПУ "КАТУ". Серия: Технические науки. Симферополь, 2013. Вып. 156. С. 25—33.
- 3. Красовский, В.В. Аналитическое обоснование параметров рабочих органов роторной косилки для ухода за междурядьями многолетних насаждений / В.В. Красовский, П.А. Догода // Науч. тр. Юф НУБиПУ "КАТУ". Серия: Технические науки. Симферополь, 2014. Вып. 162. С. 86—95.
- 4. 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 // Науч. тр. Юф НУБиПУ "КАТУ". Серия: Технические науки. Симферополь, 2014. Вып. 163. С. 152–156.
- 5. Красовский, В.В. Обоснование параметров и режимов работы косилки для скашивания сидератов в междурядьях многолетних насаждений / В.В.

- Красовский, П.А. Догода // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. Оренбург, 2015. Вып. 6 (56). С. 79–81.
- 6. Красовский, В.В. Методика проведения многофакторного эксперимента при исследовании работы косилки для ухода за междурядьями многолетних насаждений. Проблемы развития АПК региона / В.В. Красовский // Махачкала : ФГБОУ ВО «ДГАУ», 2016. Вып. 1-1 (25). С. 163—167.
- 7. Красовский, В.В. Исследование характера движения воздуха в кожухе косилки для скашивания травостоя в междурядьях садов и виноградников / В.В. Красовский // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. Симферополь, $2016. \mathbb{N} 8 (171). \mathbb{C}. 72-78.$
 - *патенты РФ*:
- 8. Пат. 157023 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.
- 9. Пат. 173262 Российская Федерация A01D34/84. 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. Опубл. 21.08.2017. Бюлл. № 24.
 - в прочих изданиях:
- 10. Красовский, В.В. Состояние и перспективы развития машин для кошения сидератов в междурядьях многолетних насаждений / В.В. Красовский, П.А. Догода // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля Луганськ, 2012. № 6 (177), ч.2. С.157-162.
- 11. Красовский, В.В. Методика проведения многофакторного эксперимента при исследовании работы косилки для скашивания сидератов в междурядьях многолетних насаждений / В.В. Красовский, П.А. Догода // Сб. тез. уч. І науч. конф. проф.-препод. состава, асп., студ. и молодых ученых «Дни науки КФУ им. В.И. Вернадского». Симферополь, 2015. С. 65–67.
- 12. Красовский, В.В. Обзор конструкций машин для кошения сидератов в междурядьях многолетних насаждений / В.В. Красовский, Р.А. Цолин, И.М. Трофимов // Современные технологии и технический прогресс для отраслей народного хозяйства в России и мире: материалы I Межрег. студ. науч.-исс. конф. ОУ сред. проф. обр. Техникумовский, 2016. С. 101- 105.
- 13. Красовский, В.В. Теоретические предпосылки к обоснованию работы ротационного режущего аппарата косилки для скашивания сидератов в междурядьях многолетних насаждений / В.В. Красовский, П.А. Догода // Europejska nauka XXI powieką 2013: Materiały IX Międzynarodowej Naukowipraktycznej konferencji. Przemyśl, 2013. Volume 26. P.10–12.
- 14. Красовский, В.В. Анализ теорий работы ротационного режущего аппарата косилки для скашивания сидератов в междурядьях многолетних насаждений / В.В. Красовский, П.А. Догода // Efektivní nástroje moderních věd –

- 2013: Materiály IX Mezinárodní vědecko praktická Konference. Praha, 2013. Díl 38 Zemědělství. P. 11–13.
- 15. Красовский, В.В. Аналитическое обоснование параметров рабочих органов роторной косилки для ухода за междурядьями многолетних насаждений / В.В. Красовский, П.А. Догода // Проблемы механизации производства и технологии переработки с.х. продукции: Материалы междунар. науч.-техн. конф. КФУ АБиП. Симферополь, 2014. С. 13–16.
- 16. Красовский, В.В. Теоретическое обоснование конструктивных и технологических параметров косилки для ухода за многолетними насаждениями / В.В. Красовский, П.А. Догода // Сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. «Современные проблемы садоводства и виноградарства и инновационные подходы к их решению». Махачкала: ФГБОУ ВО «ДГАУ», 2016. С. 215-220.
- 17. Красовский, В.В. Оценка энергетической эффективности использования косилки для скашивания сидератов в междурядьях садов и виноградников / В.В, Красовский // NAUKA I STUDIA. Przemyśl, 2017. №4, Тот 12. С. 42-47.

Красовский Виталий Викторович

Обоснование параметров и режимов работы косилки для скашивания сидератов в междурядьях садов и виноградников.

Автореф. дисс. на соискание учёной степени кандидата техн. наук.

Подписано к печати 20.08.2017 г. Формат 60х84/16. Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ №.

Напечатано с оригинал-макета заказчика в типографии ИП Гальцовой Н.А. Российская Федерация, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Парковая, 7, к. 908. E-mail: s-press@list.ru Тел.: +7 (978) 781-38-81.