

На правах рукописи



Демко Александр Николаевич

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО АГРЕГАТА НА БАЗЕ КОЛЁСНОГО  
ТРАКТОРА КЛАССА 1,4 В ТЕХНОЛОГИИ БИОЛОГИЗИРОВАННОГО  
ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации  
сельского хозяйства

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Благовещенск – 2019



## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы исследования и степень ее разработанности.**

Концепция получения продукции органического производства предусматривает постепенный переход на принципы биологического земледелия. Первоначальный этап состоит в биологизации элементов технологий возделывания сельскохозяйственных культур, повышающей плодородие почвы и одновременно снижающей химическую и техногенную нагрузку на почву до экологически безопасного уровня. В Амурской области накоплен значительный опыт биологизации технологий возделывания сои, зерновых культур и картофеля в короткоротационных севооборотах с полем сидерального пара. Основным приемом повышения плодородия является заделка в верхний слой почвы сидеральных растений, стерни и пожнивных остатков при ее основной обработке. Однако существующие средства механизации для этого приема имеют ряд недостатков, снижающих эффективность их использования. В частности, необходимость нескольких проходов однооперационных МТА для заделки сидерата и основной обработки почвы, не решены окончательно вопросы управляемости и курсовой устойчивости агрегата. При проведении сельскохозяйственных работ необходимо учитывать маломощный пахотный горизонт (от 0,08 до 0,20 м), позднее оттаивание почвы весной, летне-осеннее переувлажнение, затрудняющие использование традиционных почвообрабатывающих машинно-тракторных агрегатов, необходимость дополнительных локальных мелиоративных агроприемов (почвоуглубление на глубину пахотного горизонта, нарезка гряд или гребней с водоотводными бороздами). Поэтому повышение эффективности использования почвообрабатывающих агрегатов за счет разработки технологических и технических решений по совершенствованию технологии основной обработки почвы с заделкой органической массы в биологизированном земледелии – актуальное направление исследований, направленное на решение важной народно-хозяйственной задачи.

Работа выполнялась в соответствии с «Государственной программой развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 гг.» (Постановление Правительства Российской Федерации № 717 от 14.07.2012 г.), планом НИР ФГБОУ ВО ДальГАУ (Тема 19. «Перспективная система технологий и машин для сельскохозяйственного производства Дальнего Востока России», номер государственной регистрации 01200503571.

**Цель исследования** – разработать техническое средство для комбинированного приема основной обработки почвы в технологии биологизированного земледелия.

### **Задачи исследования:**

1. Обосновать критерии оценки эффективности работы, конструктивно-технологическую схему и режимные параметры тягово-приводного агрегата для проведения приема основной обработки почвы в технологии биологизированного земледелия.

2. Разработать методику расчета конструктивно-режимных параметров и производительности тягово-приводного агрегата по критерию удельных энергетических затрат.

3. Установить закономерности изменения курсовой устойчивости и равномерности глубины хода рабочих органов почвообрабатывающего тягово-приводного агрегата в зависимости от его конструктивно-режимных параметров.

4. Установить экспериментальными исследованиями достоверность результатов теоретических исследований и влияние приема обработки почвы на эксплуатационно-технологические и агротехнические показатели агрегата.

5. Провести эксплуатационно-технологическую, энергетическую и экономическую оценки агрегата на базе колесного трактора класса 1,4 при проведении приема основной обработки почвы в технологии биологизированного земледелия.

**Объект исследования** – процесс основной обработки почвы агрегатом с модернизированным роторным плугом в технологии биологизированного земледелия.

**Предмет исследования** – конструктивно-режимные параметры тягово-приводного агрегата, влияющие на эксплуатационно-технологические показатели выполнения приема основной обработки почвы

### **Научную новизну представляют:**

- аналитические и экспериментальные зависимости по обоснованию конструктивно-режимных параметров агрегата для основной обработки почвы в технологии биологизированного земледелия;

- закономерности изменения тягово-сцепных свойств трактора, производительности и курсовой устойчивости почвообрабатывающего агрегата в зависимости от его конструктивно-режимных параметров;

- методика расчета тягового диапазона, конструктивно-режимных параметров тягово-приводного агрегата по критерию удельных энергетических затрат.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Разработана математическая модель оценки эффективности работы и методика расчета конструктивно-режимных параметров и производительности тягово-приводного агрегата, получены теоретические зависимости и экспериментальные данные, уточняющие влияние конструктивно-режимных параметров агрегата на тягово-сцепные свойства трактора и курсовую устойчивость агрегата.

Усовершенствованы агротехнологический прием и конструктивно-технологическая схема роторного плуга для основной обработки почвы в биологизированном земледелии, которые обеспечивают оптимальные эксплуатационно-технологические показатели и курсовую устойчивость МТА, равномерную основную обработку почвы с полосным почвоуглублением и заделкой органической массы в ее верхний слой за один проход.

Результаты исследований дают основание для разработки аналогичных методов расчета и оценки полевых агрегатов в растениеводстве. Полученные технологические и технические решения могут быть использованы на предприятиях агропромышленного комплекса в технологиях биологизированного земледелия; для расчета конструктивно-режимных параметров тягово-приводных агрегатов; разработки конструкций и производства роторных плугов на предприятиях сельхозмашиностроения, а также научными сотрудниками, аспирантами и студентами учебных заведений.

**Методология и методы исследования.** Методология исследований заключается в системном подходе к рассмотрению процесса взаимодействия роторного плуга в составе МТА с почвой: взаимосвязей его конструктивно-режимных параметров, тягово-сцепных свойств и курсовой устойчивости агрегата. В аналитических исследованиях использованы методы и положения теоретической механики и математического анализа. Экспериментальные исследования и обработка данных основаны на планировании многофакторного эксперимента, методах математической статистики, дисперсионного и регрессионного анализа с использованием прикладных программ к персональному компьютеру.

**Положения, выносимые на защиту:**

- критерии оценки эффективности работы энергетического средства в агрегате с роторным плугом в технологии биологизированного земледелия;
- методика расчета тягового диапазона и рабочей скорости тягово-приводного агрегата по критерию удельных энергетических затрат;
- графоаналитический метод расчета производительности тягово-приводного агрегата в зависимости от его конструктивно-режимных параметров;
- закономерности изменения курсовой устойчивости, равномерности глубины хода рабочих органов почвообрабатывающего тягово-приводного агрегата с роторным плугом в зависимости от его конструктивно-режимных параметров;
- усовершенствованный прием основной обработки почвы с полосным разуплотнением пахотного горизонта в технологии биологизированного земледелия.

**Степень достоверности и апробация результатов работы.**

Модернизированный роторный плуг, оснащенный активными и пассивными

рабочими органами, в течение трех лет проходил испытания согласно плану научно-исследовательских работ ФГБНУ ДальНИИМЭСХ по теме № 0818-2014-0003 «Разработать новые приемы и средства механизации для технологий возделывания сои, направленные на обеспечение воспроизводства почвенного плодородия». (№ гос. регистрации АААА-А17-117020210114-6). Результаты работы доложены и одобрены на научных конференциях ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет» (2009-2018 гг.), ФГБНУ «Дальневосточный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства» (2010-2017 гг.), ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт органических удобрений и торфа» (2018 г.). Достоверность исследований подтверждается и обеспечивается сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований.

**Внедрение результатов исследования.** Результаты теоретических и экспериментальных исследований использованы при выполнении государственного контракта с МСХ Амурской области № 1411 от 07 июля 2014 г.: «Разработка конструкторской документации роторного плуга для агрегатирования с тракторами тяговых классов 14-20 кН», одобрены и рекомендованы к внедрению. Конструкторская документация на модернизированный роторный плуг в соответствии с решением МСХ Амурской области в 2016 году передана на Шимановский машиностроительный завод «Кранспецбурмаш» для мелкосерийного производства. Комбинированный прием основной обработки почвы и модернизированный роторный плуг внедрены в ООО «МИП ДальНИИМЭСХ», КФХ «Рубан».

**Публикации.** По результатам диссертационной работы опубликовано 16 печатных работ, общим объемом 2,7 п.л., в том числе четыре работы в ведущих рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК РФ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и предложений, списка литературы, состоящего из 156 наименований, в том числе 6 на иностранном языке и приложений. Общий объем диссертации составляет 160 страниц, содержит 51 рисунок, 20 таблиц, 6 приложений.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** приводится краткая характеристика изучаемой проблемы, ее актуальность, сформулированы научная новизна, объект и предмет исследований и положения, выносимые на защиту.

**В первой главе:** «Состояние вопроса и задачи исследования» проведен анализ почвенно-климатических особенностей и состояния машинно-тракторного парка в Амурской области, возможностей использования альтернативных технологий и механизированных работ с улучшающими почвенное плодородие

агротехническими приемами с целью получения экологически безопасной продукции растениеводства. Работы по биологизации технологий в растениеводстве, возвратно-экологическому машинному земледелию ведутся в различных регионах России. Этому вопросу посвящены исследования А.П. Авдеенко, Е.К. Алексеева, К.И. Довбана, С.И. Камбулова Н.А. Зеленского, А.А. Конева, М.В. Орешкина, в Амурской области – Е.П. Камчадалова, Ю.П. Кириленко, В.В. Русакова, А.В. Сюмака, О.В. Щегорец и других ученых.

Установлено, что для сохранения плодородия почвы следует применять послойную обработку почвы. Сочетание мелкой основной обработки почвы и полосного почвоуглубления положительно влияет на динамику влагопереноса в почве. Важным приемом повышения почвенного плодородия, является заделка сидеральных растений, стерни и пожнивных остатков в верхний слой почвы. Доказано, что основная обработка дисковыми рабочими органами на глубину 0,15 м в технологии биологизированного земледелия достаточна, чтобы сформировать необходимый плодородный слой при условии проведения дополнительных агроприемов (почвоуглубление на глубину пахотного горизонта и др.). Совершенствованию обработки почвы дисковыми ротационными рабочими органами посвящены работы: А.П. Акимова, В.В. Бледных, С.А. Булавина, Е.В. Буцолитч, И.М. Гринчук, Н.Ф. Канаева, Ф.М. Канарева, Я.П. Лобачевского, Ю.Н. Матяшина, И.М. Панова, А.В. Рыжкова и др. Почвенно-климатические условия Амурской области оказывают существенное влияние на качество работы дисковых почвообрабатывающих машин. К основным недостаткам дисковых борон и дискаторов на полях с тяжелыми по механическому составу почвах можно отнести: неудовлетворительное измельчение обрабатываемого почвенного слоя; недостаточную выровненность поверхности; некачественную заделку сидерата и высоких пожнивных остатков в почву за один проход; забивание рабочих органов органическими остатками и почвой при её повышенной влажности и липкости; высокие энергетические затраты при рабочем ходе агрегата.

Одним из эффективных направлений совершенствования обработки почвы является использование плугов с активными сферическими дисками в составе тягово-приводных агрегатов. Основы теории ротационных дисковых плугов заложены Г.Е. Листопадом, А.Н. Карпенко, Н.И. Клеининым, П.С. Нартовым, Г.Н. Синеоковым. К недостаткам существующих конструкций дисковых плугов относятся: плохая заглубляемость в почву и необходимость применения балластных грузов; работа на скоростях не более 7 км/ч; движущая сила ротора при определенных условиях приводит к возникновению паразитной мощности, которая нагружает трансмиссию трактора и создает в ней дополнительные

механические потери; при проведении обработки почвы возникает боковой увод МТА, что влияет на управляемость и курсовую устойчивость агрегата.

Обоснованию тяговой динамики агрегатов, вопросам их управляемости и курсовой устойчивости посвящены работы А.Ф. Жук, В.В. Кацыгина, М.Н. Коденко, И.П. Ксеновича, Г.М. Кутькова, О.С. Марченко, В.Н. Медведева, И.М. Панова, А.В. Рославцева, А.А. Соловейчика, В.А. Юзбашева, Я.Е. Фаробина. Они рассматривают МТА, как многозвенчатую динамическую систему, согласовывая между собою рациональным подбором конструктивно-режимные параметры. Обязательным условием применения новых агрегатов, остается агротехническая проходимость – способность передвигаться по полю с необходимой силой тяги, высоким тяговым КПД и качеством выполнения работы без ухудшения плодородия почвы. К основным показателям, характеризующим курсовую устойчивость МТА, по их мнению, относятся: кривизна траектории движения; весовые и геометрические параметры агрегата; режимы движения – скорость перемещения и нагрузка (силы, действующие на агрегат); энергозатраты на самопередвижение и выполнение рабочего процесса.

Анализ литературных источников и теоретических исследований по совершенствованию и оценке эффективности МТА показал, что машины с активными сферическими дисками в составе тягово-приводных агрегатов являются наиболее перспективными средствами обработки почвы в технологиях биологизированного земледелия. Они не создают плужной подошвы, формируют оптимальную структуру обработанного слоя почвы, способны заделывать сидерат и пожнивные остатки в верхний слой почвы. Однако не до конца решены задачи инженерной агроэкологии, курсовой устойчивости и энергосбережения.

**Во второй главе** «Теоретические предпосылки совершенствования конструктивно-режимных параметров агрегата для основной обработки почвы» определены основные конструктивно-режимные и технологические параметры тягово-приводного агрегата с модернизированным роторным плугом. Установка на роторный плуг почвоуглубителей по следу колес трактора позволяет совместить технологические приемы основной обработки почвы, заделки органической массы и полосного разуплотнения почвы, исключить боковой увод МТА при рабочем ходе агрегата. Вследствие того, что основная обработка почвы является одной из наиболее энергозатратных операций из всего комплекса полевых работ, в качестве одного из критериев оценки принят максимум удельной производительности на единицу мощности:

$$P_N = \frac{B \cdot v}{M_H \cdot \xi_N} \rightarrow \max . \quad (1)$$

После преобразований получено выражение для тягово-приводного агрегата

$$\Pi_N = e_N \frac{\eta_0 - \eta_{\text{ВОМ}} \xi_{\text{ВОМ}}}{(K_v + m_{\text{рм}} f_m)(1 - \xi_{\text{ВОМ}})} \rightarrow \max, \quad (2)$$

где  $e_N$  – коэффициент, учитывающий долю мощности, на преодоление тягового сопротивления рабочей машины;  $\eta_0$  – общий КПД трактора при выполнении работы в составе агрегата;  $\eta_{\text{ВОМ}}$  – КПД вала отбора мощности;  $K_v$  – удельное тяговое сопротивление рабочих органов машины, Н/м;  $m_{\text{рм}}$  – доля веса рабочей машины на единицу ширины захвата, Н/м;  $f_m$  – коэффициент сопротивления качению рабочей машины;  $\xi_{\text{ВОМ}}$  – коэффициент, отражающий долю мощности, используемую на привод рабочих органов от ВОМ.

Полученный критерий является условием для сохранения высоких значений производительности на единицу мощности, при изменении конструктивно-режимных параметров рабочей машины.

Вторым критерием оценки агрегата является условие максимального использования тяговых возможностей трактора в составе агрегата:

$$\eta_{\text{ТЯГ}} = \frac{\varphi_{\text{кр}} \cdot u_p}{\xi_T \cdot e_N} \rightarrow \max, \quad (3)$$

где  $\xi_T$  – удельная энергонасыщенность трактора, Вт/Н.

Анализ выражений (2) и (3) показывает, что для достижения высоких значений чистой производительности на единицу мощности и тягового КПД трактора, необходимо стремиться к увеличению рабочих скоростей и снижению удельного тягового сопротивления рабочих органов.

Для определения удельной производительности на единицу мощности представим мощностной баланс в виде выражения

$$N_e^H \cdot \xi_N = N_{\text{ВОМ}} + N_{\text{ТЯГ}}. \quad (4)$$

Выразив составляющие мощностного баланса

$$N_{\text{ВОМ}} = B v_p \cdot \alpha_N, \quad (5)$$

$$N_{\text{ТЯГ}} = \frac{K_v(\text{ТЯГ})}{\eta_{\text{тр}}(1-\delta)} B_p v_p + \frac{G_T f_T}{\eta_{\text{тр}}(1-\delta)} v_p. \quad (6)$$

Получим уравнение

$$N_e^H \cdot \xi_N - \frac{G_T f_T}{\eta_{\text{тр}}(1-\delta)} v_p = \alpha_N B_p v_p + \frac{K_v(\text{ТЯГ})}{\eta_{\text{тр}}(1-\delta)} B_p v_p, \quad (7)$$

где  $N_e^H$  – номинальная мощность двигателя, Вт;  $\xi_N$  – коэффициент использования номинальной мощности двигателя;  $G_T$  – вес трактора, Н;  $f_T$  – коэффициент сопротивления качению трактора;  $\eta_{\text{тр}}$  – КПД трансмиссии трактора;  $\alpha_N$  – удельная мощность на единицу подачи,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2/\text{с}}$ .

Представим решение последнего уравнения в виде системы двух уравнений:

$$\left. \begin{aligned} N_e^H \cdot \xi_N - \frac{G_r f_T}{\eta_{TP}(1-\delta)} v_p &= y_1 \\ B_p \cdot v_p \left( \alpha_N + \frac{K_p(\text{тяг})}{\eta_{TP}(1-\delta)} \right) &= y_2 \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Для поиска оптимальных решений рассчитана теоретическая модель потенциальных возможностей трактора класса 1,4 в тягово-приводном агрегате, определены расчетный тяговый диапазон  $\varphi_{кр}$  от 0,22 до 0,36 и интервал значений относительной рабочей скорости,  $v$  – отношение текущего значения рабочей скорости к расчетной, развиваемой при тяговом усилии с предельно допустимым буксованием (рисунок 1).

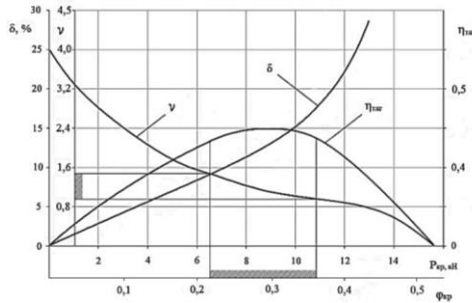


Рисунок 1 – Изменение буксования, относительной рабочей скорости и тягового КПД в зависимости от коэффициента использования веса.

Совместное геометрическое решение системы уравнений (8) в интервале рабочих скоростей  $v_p$  от 2,4 до 3,6 м/с, соответствующих расчетному тяговому диапазону, при изменении ширины захвата рабочей машины  $B_p$  от 1,8 до 3,0 м, позволяет найти оптимальную расчетную чистую производительность ( $B_p v_p$ ) тягово-приводного агрегата при ширине захвата рабочей машины  $2,4 \pm 0,2$  м и рабочей скорости  $3,1 \pm 2$  м/с (рисунок 2).

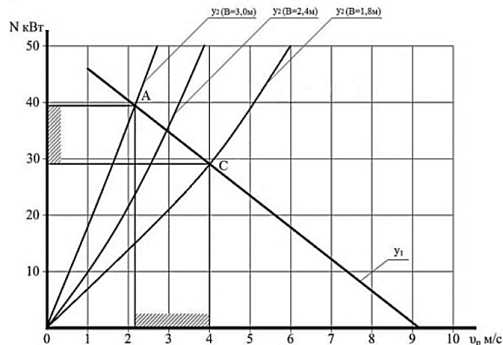


Рисунок 2 – Геометрическое решение системы уравнений для поиска чистой производительности агрегата

Найдено ограничение рабочей скорости агрегата по минимуму энергозатрат при рабочем ходе агрегата  $E_n$ , Дж/м<sup>2</sup>:

$$E_n = \frac{N_e^H \cdot \xi_N}{B_p v_p} \rightarrow \min. \quad (9)$$

Из формулы (2) чистая производительность определяется

$$Bv = \frac{N_e^H \cdot \xi_N (\eta_0 - \eta_{\text{вот}} \cdot \xi_{\text{вот}}) \cdot e_N}{K_v + m_{\text{рм}} f_M (1 - \xi_{\text{вот}})}. \quad (10)$$

Для ограничения рабочей скорости найдем дифференциал функции (9) и приравняем его к нулю:

$$\frac{dE_n}{dv} = 0, \quad (11)$$

Отсюда значение рабочей скорости, м/с

$$v_{p(\text{opt})} \leq \sqrt{\frac{K_0}{\zeta}}. \quad (12)$$

Проведенный расчет для ширины рабочей машины 2,4 м дает значение рабочей скорости  $v_{p(\text{opt})} \leq 3,33$  м/с, что соответствует расчетному диапазону рабочей скорости по мощностному балансу.

На основании анализа взаимосвязей между конструктивными параметрами сферических почвообрабатывающих дисков и размерами элементов профиля дна обрабатываемой поверхности рассчитаны зависимости и построен график изменения высоты гребня дна борозды от угла атаки почвообрабатывающего ротора и расстояния между дисками (рисунок 3).

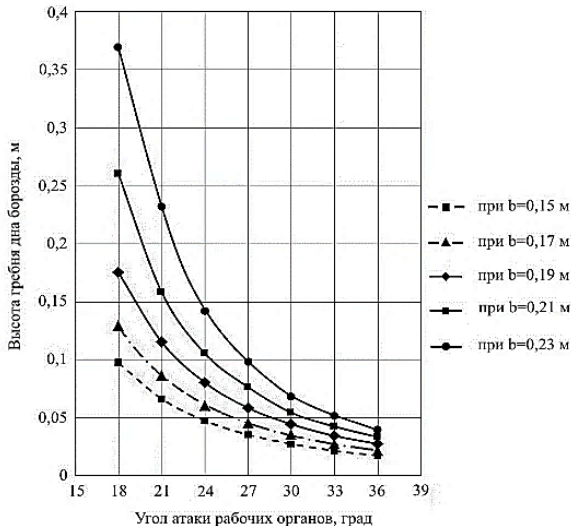


Рисунок 3 – График зависимости высоты гребня дна борозды от угла атаки рабочих органов

Установлено, что для обеспечения агротехнических требований на гребнистость дна борозды – не более 0,02 м и полного подрезания корней сидеральных растений и стерни сферическими дисками роторного плуга, их заделки в слой почвы глубиной до 0,15 м, угол атаки ротора должен быть  $\alpha \geq 23^\circ$  при диаметре диска  $D = 0,66$  м и расстоянии между дисками  $b = 0,23$  м.

Используя расчетные значения ширины захвата рабочей машины, рабочей скорости, и тягового сопротивления при номинальном буксовании, получены расчетные значения конструктивной длины ротора  $V_{\text{расч}}=2,76$  м; рабочей ширины лезвия долота почвоуглубителя  $V_p=0,075$  м; ширины расстановки почвоуглубителей  $H_{\text{пу}}=1,4$  м, для полосного почвоуглубления, что соответствует месту установки почвоуглубителей по центрам следа ведущих колес трактора.

Для подтверждения гипотезы о роли почвоуглубителей в сохранении курсовой устойчивости при рабочем ходе агрегата рассмотрим схему сил и реакций, действующих на агрегат (рисунок 4).

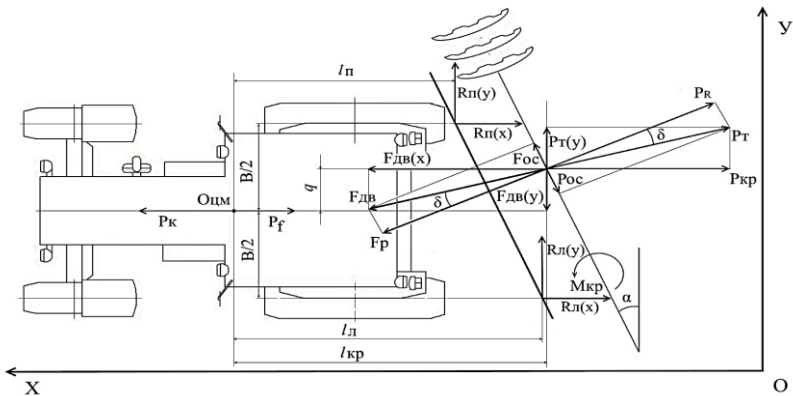


Рисунок 4 – Схема сил и реакций, действующих на МТА

Для сохранения курсовой устойчивости агрегата должно выполняться условие:

$$\sum M_0 = F_{\text{дв}(x)} \cdot q - F_{\text{дв}(y)} \cdot l_{\text{кр}} + P_{\text{т}(y)} \cdot l_{\text{кр}} - P_{\text{кр}} \cdot q + R_{\text{л}(y)} \cdot l_{\text{л}} + R_{\text{л}(x)} \cdot \frac{B}{2} + R_{\text{п}(y)} \cdot l_{\text{п}} - R_{\text{п}(x)} \cdot \frac{B}{2} = 0, \quad (13)$$

где  $F_{\text{дв}}$  – движущая сила ротора;  $F_p, F_{\text{ос}}$  – радиальная и осевая силы сопротивления ротора;  $R_{\text{п}(x)}$  и  $R_{\text{л}(x)}$  – тяговое сопротивление правого и левого почвоуглубителей; реакции почвы на почвоуглубители, стабилизирующие прямолинейное движение агрегата  $R_{\text{л}(y)} = R_{\text{п}(y)} = R_{\text{пу}}$ , где  $R_{\text{пу}}$  – половина суммарной боковой реакции почвы на почвоуглубителях.

Представим разницу между тяговым сопротивлением агрегата и движущей силой ротора в виде:

$$P_{кр} - F_{дв(x)} = \Delta F. \quad (14)$$

Тогда, после некоторых преобразований получим выражение для определения стабилизирующих реакций почвоуглубителей:

$$R_{ПУ} = \frac{\Delta F}{(2l_{п} + Btg\alpha)} \cdot \left( l_{кр} \frac{tg(\alpha - \delta)}{\cos(\alpha - \delta)} - q \right) \quad (15)$$

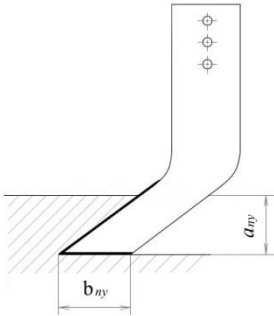


Рисунок 5 – Схема почвоуглубителя

Вследствие того, что боковая поверхность почвоуглубителей, имеет форму параллелограмма (рисунок 5), значение стабилизирующей реакции почвы находится по выражению

$$R_{ПУ} = \sigma_{сж} b_{ny} a_{ny} \quad (16)$$

При совместном решении последних выражений найдено выражение для расчёта ширины стойки почвоуглубителя которая зависит от развиваемой роторным плугом движущей силы, глубины хода почвоуглубителей ( $a_{ny}$ ), физико-механических свойств почвы ( $\sigma_{сж}$ ) и конструктивных параметров роторного плуга

$$b_{ny} = \frac{\Delta F}{\sigma_{сж} a_{ny} (2l_{кр} + \frac{B}{4} tg\alpha)} \cdot \left( l_{кр} \frac{tg(\alpha - \delta)}{\cos(\alpha - \delta)} - \frac{B}{4} \right). \quad (17)$$

Решая уравнение (17) с глубиной установки почвоуглубителей – 0,25 м; найдено расчетное минимальное значение ширины стойки почвоуглубителя  $b_{ny}=0,154$  м. Для конструкции роторного плуга принята стандартная стойка культиватора конструкции ДальНИИМЭСХ шириной 0,16 м.

**В третьей главе** «Программа и методика экспериментальных исследований» приведены общие методологические положения и частные методики экспериментальных исследований и обработки данных.

Для проведения исследований разработан экспериментальный образец роторного плуга (рисунок 6), обеспечивающий возможность установки: угла атаки ротора на 18°; 24°; 30°; почвоуглубителей на глубину до 0,3 м. Экспериментальные исследования проводились на лугово-черноземовидных почвах, по механическому составу – суглинках, в соответствии с ГОСТ 20915-2011. «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний», ГОСТ Р 52778-2007 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки», ГОСТ Р 54784-2011 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы оценки технических параметров».

Программа исследований предусматривала проведение многофакторного эксперимента. Качество выполнения приема основной обработки почвы модернизированным роторным плугом оценивалось гребнистостью поверхности поля, фракционным составом почвы, равномерностью глубины хода дисковых рабочих органов и почвоуглубителей. Для определения курсовой устойчивости использована регистрирующая аппаратура с использованием эффекта гироскопичности.



1, 2 – почвоуглубители; 3 – ротор

Рисунок 6 – Экспериментальный образец модернизированного роторного плуга

Для регистрации результатов измерений использовался бортовой измерительный комплекс БИК-М. Запись сигнала по всем каналам писалась непрерывно. Результаты измерений обрабатывали программой АСTest-Pro, установленной на бортовой измерительный комплекс БИК-М.

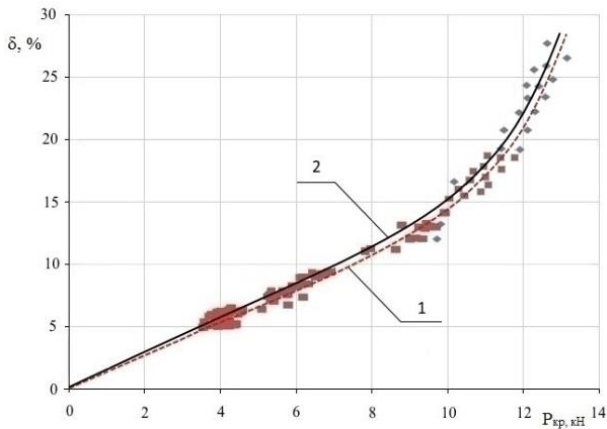
**В четвертой главе** «Результаты экспериментальных исследований» приведены результаты лабораторно-полевых исследований комбинированного приема основной обработки почвы и экспериментального образца модернизированного роторного плуга, а также результаты производственной проверки агрегата. По результатам проведения многофакторного эксперимента получены статистические модели (уравнения регрессии) в натуральном виде для определения:

- угла курсовой устойчивости:  $\gamma = -18,23 + 1,85\alpha + 0,37h + 0,69v$ ;
- равномерности глубины хода:  $U_p = -14,27 + 4,23\alpha - 3,70h + 9,36v - 0,39\alpha v$ .

Установлено, что на курсовую устойчивость и равномерность глубины обработки почвы роторным плугом наибольшее влияние оказывают угол атаки ротора ( $\alpha$ ) и рабочая скорость агрегата ( $v$ ). Установка на роторный плуг почвоуглубителей с шириной стойки  $b_{ny} = 0,16$  м на глубину  $a_{ny} = 0,25$  м обеспечивает прямолинейное движение МТА на лугово-черноземовидных почвах

в диапазоне рабочих скоростей,  $v_p$  от 2,4 до 3,3 м/с при принятой глубине обработки ротором  $h = 0,15$  м и угле атаки ротора  $\alpha = 24^\circ$ . Угол курсовой устойчивости не превышает  $5^\circ$ .

Для проверки теоретических предпосылок проведены тяговые испытания трактора в агрегате с роторным плугом шириною захвата  $B_p=2,4$  м и глубиной обработки почвы ротором на 0,15 м на трех (V, VI, VII) передачах и четырех режимах работы: с включенным ВОМ, без почвоуглубления; с включенным ВОМ и почвоуглублением на 0,2 м; с включенным ВОМ и почвоуглублением на 0,25 м; с отключенным ВОМ. На всех режимах методом «пятого колеса» определено буксование трактора, построена зависимость  $\delta = f(P_{кр})$  (рисунок 7).



1 – экспериментальная кривая; 2 – расчетная кривая

Рисунок 7 – Изменение буксования трактора от тягового сопротивления роторного плуга

Установлено, что расчетным данным (расчетный тяговый диапазон  $\varphi_{кр}$  от 0,22 до 0,36 и диапазон рабочих скоростей  $v_p$  от 2,4 до 3,6 м/с) соответствует режим  $P_3$ , с ограничением рабочей скорости агрегата по агротехническим требованиям.

По результатам испытаний построен график изменение рабочей скорости от сопротивления рабочей машины по передачам (рисунок 8).

Используя результаты тяговых испытаний, рисунки 7 и 8, проверена адекватность предложенной модели поиска оптимальных значений тягового диапазона и рабочей скорости агрегата по уравнению мощностного баланса (рисунок 9).

Теоретическая и экспериментальная кривые изменения буксования и относительной рабочей скорости находятся в доверительном интервале с

доверительной вероятностью 0,95. Таким образом, полученные значения тягового диапазона  $\varphi_{кр}$  от 0,22 до 0,36 и рабочей скорости  $v_p$  от 2,4 до 3,6 м/с ( $v = 1,0 \dots 1,5$ ) достоверны и могут использоваться для определения конструктивно-режимных параметров тягово-приводного агрегата.

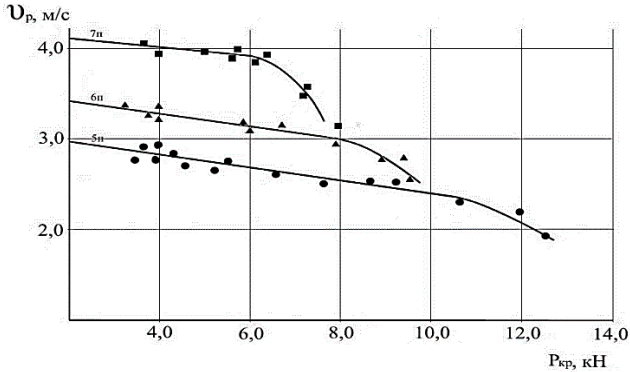


Рисунок 8 – Экспериментальные кривые изменения рабочей скорости от сопротивления рабочей машины

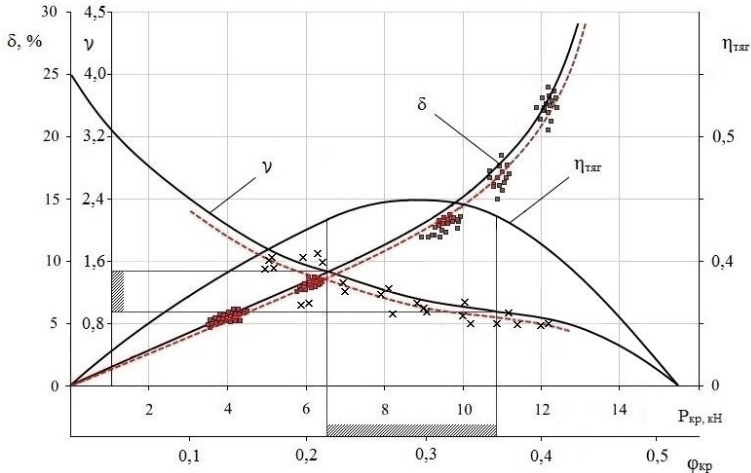


Рисунок 9 – Теоретические и экспериментальные кривые изменения буксования, относительной рабочей скорости и тягового КПД агрегата

По результатам исследований построена тяговая характеристика трактора в агрегате с роторным плугом с установкой почвоуглубителей на 0,25 м на трех основных передачах (рисунок 10). Максимальные значения тягового КПД в тяговом диапазоне  $\varphi_{кр}$  от 0,22 до 0,36 трактор развивает на VI передаче в с рабочей скоростью 3,02 м/с при буксовании движителя 16,5%, что соответствует

агротехническим требованиям к обработке почвы ротационными рабочими органами и допустимому буксованию колесного трактора. Основными рабочими передачами в зависимости от условий работы следует считать V, VI, передачи с рабочими скоростями от 2,44 до 3,02 м/с. (режим 3) что соответствует агротехническим требованиям к обработке почвы ротационными рабочими органами и допустимому буксованию колесного трактора

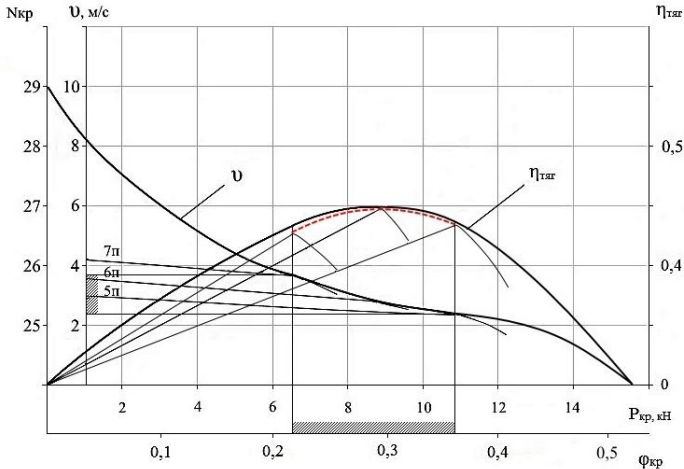


Рисунок 10 – Расчетная потенциальная и экспериментальная тяговые характеристики трактора в агрегате с роторным плугом и почвоуглубителями при  $h_n=0,25$  м.

Оценка качества приема основной обработки почвы показала, что при рабочей скорости до 3,0 м/с рабочие органы обеспечивают рыхление почвы на глубину 0,149 м. Стандартное отклонение глубины обработки ротором составило  $\pm 0,01$  м, при коэффициенте вариации 13%. Среднеарифметическое значение гребнистости поверхности составило 0,042 м, при стандартном отклонении 0,015 м и коэффициенте вариации – 19%. Средняя глубина обработки почвы почвоуглубителями – 0,24 м, при стандартном отклонении 0,026 м и коэффициенте вариации – 22%. Роторный плуг обеспечивал полное подрезание стерни. На поверхности поля после перемешивания ее на глубину обрабатываемого слоя почвы осталось не более 25 - 27% пожнивных остатков. Почвенные фракции соответствовали агротехническим требованиям. Комки почвы более 100 мм отсутствовали. Крошение почвы до размера 50...100 мм составило 79%. Залипание почвой и забивание растительными остатками дисковых рабочих органов и почвоуглубителей не наблюдалось.

Производительность за час основного времени смены составила 1,99 га/ч, при удельном расходе топлива 7,5 кг/га.

**В пятой главе** «Экономическая и энергетическая эффективность результатов исследований» приведены результаты расчетов, доказывающие, что применение приема основной обработки почвы модернизированным роторным плугом в агрегате с колесным трактором класса 1,4 с совмещением операций измельчения сидеральных растений, заделки органической массы и стерни в почву и полосного почвоуглубления в технологии биологизированного земледелия снижает затраты труда в 3,8 раза; удельный расход нефтепродуктов в 1,7 раза; удельные эксплуатационные затраты, в зависимости от выбора сравниваемых технологических приемов (измельчение сидерата с использованием КИР-1,5 и его последующая заделка при мелкой вспашке плугом ПЛН-3-35; укладка сидерата катком ЗКВГ-1,4, его измельчение и заделка в два следа, в верхний слой почвы с использованием дисковой бороны БДТ-3,0) в 2,56 и 2,39 раза; удельные приведенные затраты в 2,66 и 2,48 раза, соответственно.

Энергетическая эффективность приема основной обработки почвы агрегатом с модернизированным роторным плугом, по сравнению с принятыми приемами, составляет 973,06 МДж/га, и 1183,44 МДж/га, соответственно.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Обоснованы критерии оценки эффективности работы тягово-приводного агрегата с роторным плугом при проведении приема основной обработки почвы в технологии биологизированного земледелия: тяговый КПД; чистая производительность и энергетические затраты при рабочем ходе агрегата.

Теоретическими исследованиями и аналитическими расчетами обоснованы конструктивно-технологическая схема и режимные параметры агрегата с модернизированным роторным плугом: диаметр сферического диска – 0,66 м; расстояние между дисками ротора – 0,23 м; угол атаки ротора – 24°; ширина стойки почвоуглубителя – 0,16 м; глубина установки почвоуглубителей – 0,25 м; расстояние между почвоуглубителями на раме машины – 1,4 м; расчетные значения числа оборотов ротора – 385 об/мин; ширины захвата – 2,4±0,2 м и рабочей скорости агрегата 3,1±0,2 м/с.

2. Разработана методика расчета тягового диапазона и рабочей скорости агрегата. Теоретическая и экспериментальная кривые находятся в доверительном интервале, таким образом, полученные значения тягового диапазона  $\varphi_{кр}$  от 0,22 до 0,36 и рабочей скорости  $v_p$  от 2,4 до 3,6 м/с достоверны и могут использоваться для графоаналитического метода расчета производительности тягово-приводного агрегата в зависимости от его конструктивно-режимных параметров по критерию удельных энергетических затрат.

3. Установлены закономерности в виде регрессионных моделей изменения курсовой устойчивости и равномерности глубины хода рабочих органов

почвообрабатывающего тягово-приводного агрегата в зависимости от его конструктивно-режимных параметров: угла атаки ротора, рабочей скорости и глубины установки почвоуглубителей. В диапазоне принятых по агротехническим требованиям рабочих скоростей от 2,4 до 3,3 м/с Установка на роторный плуг почвоуглубителей с шириной стойки – 0,16 м на глубину 0,25 м обеспечивает курсовую устойчивость агрегата на лугово-черноземовидных почвах (угол отклонения агрегата не превышает 5°) и равномерность обработки почвы ротором.

4. Экспериментальными исследованиями установлено, что установка почвоуглубителей на глубину 0,25 м по центру следа ведущих колес (ширина 1,4 м) обеспечивают работу в расчетном тяговом диапазоне в интервале значений рабочих скоростей от 2,44 до 3,02 м/с, с буксованием трактора от 11 до 16,5%, при которых сохраняются максимальные значения тягового КПД от 0,43 до 0,45 и удельной чистой производительности на единицу мощности. Эксплуатационная производительность почвообрабатывающего агрегата составила 1,87 га/ч, при средней эксплуатационной скорости движения 2,45 м/с и удельном расходе топлива 8,5 кг/га.

5. Полевыми исследованиями установлено, что при выполнении усовершенствованного приема основной обработки почвы с полосным разуплотнением пахотного горизонта полностью выполняются агротехнические требования для технологии биологизированного земледелия: равномерность глубины обработки почвы ротором –  $0,149 \pm 0,01$  м, (при коэффициенте вариации 13%) с высотой гребней  $0,042 \pm 0,015$  м, (коэффициент вариации 19%); полное подрезание стерни с заделкой от 73 до 75% органической массы в почву. Равномерность почвоуглубления –  $0,24 \pm 0,026$  м, (при коэффициенте вариации 22%). После прохода агрегата почвенные фракции размером от 50 до 100 мм составили 79%, комки почвы более 100 мм отсутствовали. Залипание почвой и забивание растительными остатками дисковых рабочих органов и почвоуглубителей не наблюдалось.

6. Применение приема основной обработки почвы модернизированным роторным плугом в агрегате с трактором класса 1,4 в технологии биологизированного земледелия снижает затраты труда в 3,8 раза, удельный расход нефтепродуктов в 1,7 раза, удельные эксплуатационные затраты, в зависимости от выбора сравниваемых технологических приемов, в 2,56 и 2,39 раза, удельные приведенные затраты в 2,66 и 2,48 раза. Энергетическая эффективность составляет от 973,06 МДж/га до 1183,44 МДж/га. Годовой экономический эффект от применения нового приема основной обработки почвы и модернизированного роторного плуга в технологии биологизированного земледелия по сравнению с принятыми технологиями основной обработки почвы в биологизированном земледелии составляет от 554735,5 до 622912,33 рублей.

7. Результаты исследований реализованы в ООО «МИП ДальНИИМЭСХ»,

КФХ «Рубан», одобрены и рекомендованы к внедрению МСХ Амурской области на предприятиях агропромышленного комплекса в биологизированных технологиях растениеводства. Результаты исследований дают основание для разработки аналогичных методов расчета и оценки полевых агрегатов в растениеводстве. Разработанная методика и полученные технологические и технические решения могут быть использованы для расчета конструктивно-режимных параметров тягово-приводных агрегатов и для разработки конструкций и производства роторных плугов на предприятиях сельхозмашиностроения для возвратно-экологического земледелия.

**Список работ, опубликованных по теме диссертации:  
в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ:**

1. Демко, А. Н. Конструктивно-технологические параметры почвообрабатывающего агрегата на базе колесного трактора тягового класса 1,4 / А. Н. Демко, Г. И. Орехов, А. А. Цыбань // Дальневосточный аграрный вестник. – 2018. - № 1(45). – С. 80-85.
2. Демко, А. Н. Оптимальный режим работы роторного плуга / А. Н. Демко, Г. И. Орехов, А. Н. Панасюк // Сельский механизатор. – 2011. – №6. – С 8-9.
3. Демко, А. Н. Оценка эффективности работы тягово-приводного почвообрабатывающего агрегата / А. Н. Демко, А. Н. Панасюк, Г. И. Орехов, // Научная жизнь. – 2018. - №6. – С. 24-31.
4. Панасюк, А. Н. Стабилизация хода МТА с роторным плугом / А. Н. Панасюк, Г. И. Орехов, А. Н. Демко // Вестник Бурятской Государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – Улан-Удэ, ФГБОУ ВПО Бурятская ГСХА им. В.Р. Филиппова. – 2013. – № 2(31). – С 58-61.

**в других изданиях:**

5. Демко, А. Н. Оценка эффективности технологического процесса обработки почвы роторным плугом / А. Н. Демко, Г. И. Орехов // Современные технологии и техническое обеспечение производства и переработки сельскохозяйственных культур: сб. научн. тр. – Благовещенск: ФГБНУ ДальНИИМЭСХ, 2016. – С. 165-173.
6. Демко, А. Н. Повышение эффективности использования почвообрабатывающего агрегата на базе колесного трактора тягового класса 1,4 в технологии биологического земледелия / А. Н. Демко, Г. И. Орехов, А. Н. Панасюк // Современные технологии производства и переработки сельскохозяйственных культур: сб. науч. статей. – Благовещенск: ФГБНУ ДальНИИМЭСХ, 2017. – С. 95-108.
7. Демко, А. Н. Результаты лабораторно-полевых исследований работы диско-лапового почвообрабатывающего орудия / А. Н. Демко, Г. И. Орехов, А. Н. Панасюк // Механизация и электрификация технологических процессов в

сельскохозяйственном производстве: сб. науч. тр. ДальГАУ. – Благовещенск, ДальГАУ, 2012. – Вып. 19. – С. 17-20.

8. Демко, А. Н. Совершенствование технологического процесса обработки почвы ротационными орудиями / А. Н. Демко, Г. И. Орехов // Инженерно-техническое обеспечение регионального машиностроения и сельхозмашиностроения: сб. науч. тр. – Благовещенск: ГНУ ДальНИИМЭСХ Россельхозакадемии, 2011. – С. 117-123.

9. Демко, А. Н. Критерии оценки эффективности работы машинно-тракторного агрегата на базе колесного трактора тягового класса 1,4 с роторным плугом / А. Н. Демко, Г. И. Орехов, А. Н. Панасюк // Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития : матер. всерос. науч.-практ. конф., посвященной Году экологии в России (Благовещенск, 11 апр. 2018 г.). В 2 ч. Ч.1. – Благовещенск: Изд-во Дальневосточного гос. аграрного ун-та, 2018. – С. 116-121.

10. Демко, А. Н. Курсовая устойчивость колесного трактора 4К2 при работе с роторным плугом / А. Н. Демко, Г. И. Орехов, А. Н. Панасюк // Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: сб. науч. тр. ДальГАУ. – Благовещенск, ДальГАУ, 2013. – Вып. 20. – С. 60-65.

11. Демко, А. Н. Методические основы проведения тяговых испытаний почвообрабатывающего агрегата с активными и пассивными рабочими органами / А. Н. Демко, А. Н. Панасюк, Г. И. Орехов // Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: сб. науч. тр. ДальГАУ. – Благовещенск, ДальГАУ, 2011. – Вып. 18. – С. 51-54.

12. Орехов, Г. И. Анализ конструкций почвообрабатывающих машин с активными и пассивными рабочими органами / Г. И. Орехов, А. Н. Демко // Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: сб. науч. тр. ДальГАУ. – Благовещенск: ДальГАУ, 2010. – Вып. 17. – С. 189-194.

13. Орехов, Г. И. К разработке комбинированной почвообрабатывающей машины / Г. И. Орехов, А. Н. Панасюк, В. П. Мухин, М. И. Татаринев, А. Н. Демко // Технологии и средства механизации производства и переработки сельскохозяйственной продукции АПК Дальнего Востока: сб. науч. тр. – Благовещенск: ГНУ ДальНИИМЭСХ Россельхозакадемии, 2010. – С. 277–282.

14. Орехов, Г. И. Курсовая устойчивость роторных почвообрабатывающих машин / Г. И. Орехов, А. Н. Панасюк, А. Н. Демко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2015. – № 5. – С 6-8.

15. Панасюк, А. Н. Повышение курсовой устойчивости агрегата с роторным плугом / А. Н. Панасюк, Г. И. Орехов, А. Н. Демко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2014. – №1. – С. 19-21.

16. Epifantsev, V. V. Cover crops as sources of nutrients increasing productivity of soya sown with wide-space method in the climate of the Amur Region, Russia / V. V. Epifantsev, A.N. Panasyuk, Ya. A. Osipov, A.A. Tzyban, A.N. Demko // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical (ISSN:0975-8585) / - 2019. – Vol. 10(№2). pp. 1470-1476.

*Демко Александр Николаевич*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО АГРЕГАТА НА БАЗЕ КОЛЁСНОГО  
ТРАКТОРА КЛАССА 1,4 В ТЕХНОЛОГИИ БИОЛОГИЗИРОВАННОГО  
ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

*АВТОРЕФЕРАТ*

*диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук*

Лицензия ЛР 020427 от 25.04.1997 г.

Подписано к печати 11.06.2019 г. Формат 60x90/16.

Уч.-изд.л. – 1,0. Усл. - п.л. – 1,5

Тираж 150 экз. Заказ 106.

---

Отпечатано в отделе оперативной полиграфии издательства  
Дальневосточного государственного аграрного университета  
675005, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86