

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

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
(технические науки)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук
Орехов Геннадий Иванович

Благовещенск – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 5 |
| Глава 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ | 13 |
| 1.1 Природно-производственные особенности сельского хозяйства Амурской области | 13 |
| 1.2 Анализ состояния машинно-тракторного парка Амурской области..... | 17 |
| 1.3 Анализ использования приемов биологизации земледелия в Амурской области..... | 19 |
| 1.4 Анализ преимуществ и недостатков применения конструкций почвообрабатывающих машин в технологиях альтернативного земледелия..... | 27 |
| 1.5 Анализ теоретических исследований по совершенствованию и оценке тягово- приводных агрегатов в агротехнологиях..... | 36 |
| 1.6 Основные выводы по анализу состояния вопроса, цель и задачи исследования..... | 43 |
| Глава 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ АГРЕГАТА ДЛЯ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ | 47 |
| 2.1 Выбор критериев оценки эффективности работы тягово-приводного машинно- тракторного агрегата..... | 47 |
| 2.2 Обоснование конструктивно-режимных параметров тягово-приводного агрегата..... | 52 |
| 2.3 Оптимизация рабочей скорости агрегата по критерию удельных энергетических затрат..... | 55 |
| 2.4 Обоснование основных конструктивных параметров роторного плуга с почвоуглубителями..... | 56 |
| 2.4.1 Обоснование числа оборотов почвообрабатывающего ротора..... | 56 |
| 2.4.2 Обоснование угла атаки почвообрабатывающего ротора в биологизированном земледелии..... | 58 |
| 2.4.3 Обоснование конструктивных параметров почвоуглубителей..... | 60 |

| | |
|---|-----|
| 2.5 Краткие выводы по проведенным теоретическим исследованиям..... | 65 |
| Глава 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ..... | 67 |
| 3.1 Программа экспериментальных исследований..... | 67 |
| 3.2 Экспериментальный образец роторного плуга для технологии биологизированного земледелия..... | 68 |
| 3.3 Методика определения физико-механических свойств почвы..... | 69 |
| 3.3.1 Определение объемной массы (плотности) и влажности почвы..... | 69 |
| 3.3.2 Определение твердости почвы..... | 71 |
| 3.4 Частные методики проведения экспериментальных исследований..... | 72 |
| 3.4.1 Методика определения влияния угла атаки ротора на выполнение рабочего процесса | 72 |
| 3.4.2. Методика определения угла курсовой устойчивости..... | 75 |
| 3.4.3 Методика определения показателей качества выполнения основной обработки почвы роторным плугом..... | 80 |
| 3.4.4 Планирование многофакторного эксперимента в полевых опытах | 82 |
| 3.4.5 Методика определения тягового сопротивления модернизированного роторного плуга..... | 85 |
| 3.5 Математическая обработка экспериментальных данных..... | 92 |
| Глава 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ..... | 95 |
| 4.1 Результаты экспериментальных исследований по определению угла атаки ротора..... | 95 |
| 4.2 Результаты экспериментальных исследований тягового сопротивления роторного плуга..... | 101 |
| 4.3 Результаты полевых испытаний агрегата с роторным плугом для технологии биологизированного земледелия..... | 104 |
| 4.4 Краткие выводы по проведенным экспериментальным исследованиям..... | 109 |
| Глава 5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ..... | 110 |
| 5.1 Расчет основных показателей экономической эффективности..... | 110 |

| | |
|--|-----|
| 5.2 Расчет основных показателей энергетической эффективности..... | 113 |
| 5.3 Расчет основных показателей экономических и энергетических затрат на выполнение операции почвоуглубления..... | 116 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 118 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... | 121 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ..... | 137 |
| Приложение А..... | 138 |
| Приложение Б..... | 142 |
| Приложение В..... | 146 |
| Приложение Г..... | 147 |
| Приложение Д..... | 148 |
| Приложение Е..... | 160 |

ВВЕДЕНИЕ

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.

К биологическим приемам повышения плодородия почвы можно отнести снижение уплотняющего воздействия, использование короткоротационных севооборотов с включением сидерального пара, как альтернативы минеральным удобрениям, максимальное использование нетоварной части урожая (стерни и пожнивных остатков) в качестве органического удобрения. Применение технологического приема и универсального технического средства для выполнения перечисленных условий в севообороте биологизированного земледелия позволит существенно повысить эффективность получения продукции.

Наиболее благоприятна по климатическим условиям для получения экологически безопасной продукции основных культур – сои, зерновых и картофеля южная зона Амурской области. Средняя температура воздуха в период проведения полевых работ достигает значений от +25 до +27 С°, во второй половине лета выпадает основная часть осадков. Тепло и влага способствуют увеличению скорости минерализации органического вещества в почве. Почвы Амурской области представлены тяжелыми суглинистыми разновидностями, подстеленными твердым основанием. В период проведения полевых работ они подвержены периодическому переувлажнению, имеют слабую несущую способность, склонны к переуплотнению под воздействием движителей машин и рабочих органов. Для снижения уплотняющего воздействия на почву и выполнения приема обработки почвы с заделкой сидератов, стерни и пожнивных остатков в севооборотах биологизированного земледелия рекомендуется использовать тракторы класса 1,4 - 2,0. По оценкам Министерства сельского хозяйства Амурской

области на начало 2018 года количество этих тракторов составляет примерно 40%. Они в основном используются на транспортных работах и малая часть на основной и предпосевной подготовке почвы.

Степень разработанности темы. Одним из перспективных направлений повышения эффективности применения колесных тракторов на основной обработке почвы является улучшение тягово-сцепных свойств за счет использования активных почвообрабатывающих органов, путем использования их движущей силы, как дополнительного ведущего моста, с одновременным выполнением технологического процесса и последующим переводом МТА (машинно-тракторного агрегата) в корректный тяговый режим. Основные принципы и методологические подходы по научному обоснованию конструктивных, эксплуатационно-технологических, энергетических параметров машинно-тракторных агрегатов заложены учеными ВИМ (М.Б. Халилов, А.Ф. Жук, А.А. Соловейчик, Я.П. Лобачевский и др.), МГАУ (А.А. Зангиев, О.Н. Дидманидзе, Г.М. Кутьков, В.А. Самсонов и др.), СКНИИМЭСХ (Х.М. Музаев, С.И. Камбулов, А.Н. Эркенов и др.), других научных организаций. Исследованию различных аспектов этого направления посвящены работы Я.С. Агейкина, А.П. Акимова [4, 5, 6], Ф.С. Завалишина [53], В.В. Кацыгина [72, 73], И.П. Ксеневица [79], Г.М. Кутькова [80, 81], В.И. Медведева [88], В.А. Самсонова [120], А.А. Соловейчика [124, 125, 126], С.В. Щитова [145] и других ученых. Большой вклад в создание ротационных почвообрабатывающих машин и исследование эффективности тягово-приводных агрегатов внесли: И.М. Гринчук [30, 31], А.Д. Далин, А.Ф. Жук [51, 52], Ф.М. Канарев [65, 66, 67, 68], Н.Ф. Канев [70], А.Г. Левшин, О.С. Марченко [85], Ю.И. Матяшин [86, 87], П.С. Нартов [95], И.М. Панов [107, 108], Г.Ф. Попов [110], В.А. Юзбашев [146, 147, 148], Е.П. Яцук [150] и другие учёные.

В настоящее время в Амурской области ведутся работы по биологизации технологий возделывания сельскохозяйственных культур, целью которых является снижение затрат при получении высоких урожаев экологически безопасной продукции растениеводства. Этим вопросам посвящены исследования Е.П.

Камчадалова [62, 63], Ю.П Кириленко [74, 75], Е.Н. Мишустина [16], В.В. Русакова [116, 117, 118], А.В. Сюмака [131, 132, 133, 134], О.В. Щегорец [143, 144] и других ученых. Одной из операций предлагаемых технологий биологизированного земледелия является заделка в верхний слой почвы органической массы вегетирующих растений, стерни и пожнивных остатков при основной обработке почвы.

Актуальность темы исследования. Распространение биологизированного земледелия, основанного на использовании заложенных природой резервов, наиболее активно применяется в растениеводстве. 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 планом научно-исследовательских работ ФГБОУ ВО ДальГАУ (Тема 19: «Перспективная система технологий и

машин для сельскохозяйственного производства Дальнего Востока России», номер государственной регистрации 01200503571) и направлена на выполнение Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы [29].

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.

Научная гипотеза: для повышения эксплуатационно-технологических показателей почвообрабатывающего агрегата, снижения энергетических затрат на основной обработке почвы в технологии биологизированного земледелия целесообразно использовать новый прием и комбинированную машину, оборудованную, как активными рабочими органами – сферическими дисками, так и пассивными рабочими органами – почвоуглубителями.

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. 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» (приложение А).

Личный вклад соискателя состоит в проведении анализа исследований в области биологизации растениеводства, агротехнических приемов и степени приспособленности машин для основной обработки почвы в технологиях биологизированного земледелия. Соискателем разработаны предпосылки

совершенствования конструктивно-режимных параметров агрегата для нового приема основной обработки почвы, проведены экспериментальные исследования МТА с роторным плугом в технологии биологизированного земледелия, разработаны программа и частные методики экспериментальных исследований. Соискатель принимал личное участие в разработке исходных требований на техническое средство для основной обработки почвы (приложение Б).

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.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Природно-производственные особенности сельского хозяйства Амурской области

Амурская область расположена в умеренном географическом поясе, климат резко континентальный с чертами муссонного. Для всей области характерны недостаток влаги весной и летний максимум осадков: с июня по август может выпасть до 70% годовой нормы осадков [149]. Средняя температура воздуха в период проведения полевых работ в Амурской области, представлена на рисунке 1.1. Зимний период характеризуется продолжительными низкими температурами (от минус 27 до минус 32 °С), малым количеством осадков.

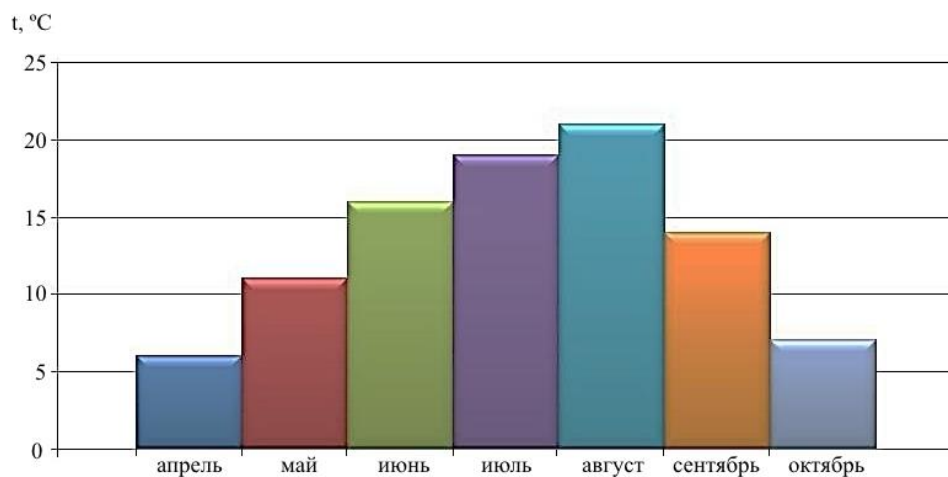


Рисунок 1.1 – Распределение температуры по месяцам года (среднее, по пятнадцатилетним наблюдениям) [149]

Продолжительность холодного периода составляет от 130 до 160 дней. Весна поздняя и затяжная, часто сопровождается засухой. Осадки с марта по май составляют от 7 до 14% годовой нормы. В агротехнические сроки посева сои с середины мая и начале июня имеют место значительные перепады температуры воздуха, от плюс 25 °С днем до минус 1 °С ночью, усиливается ветер, в результате чего почва теряет влагу. Первая половина лета теплая и сухая, во второй половине,

как правило, выпадает основная часть летних осадков (рисунок 1.2). Тепло и влага способствуют увеличению скорости минерализации. С июня по сентябрь выпадает до 350 мм осадков, что вызывает периодическое переувлажнение суглинистых почв.

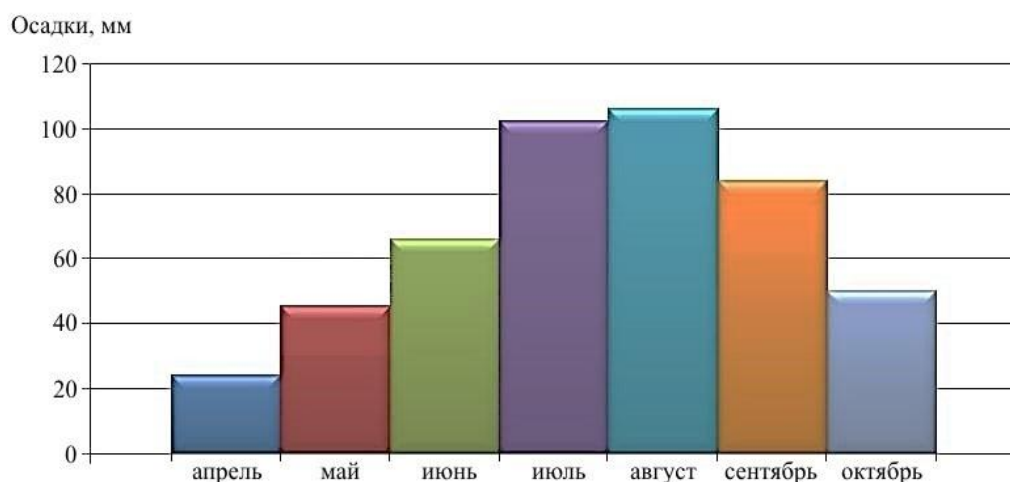


Рисунок 1.2 – Распределение осадков по месяцам года (среднее, по пятнадцатилетним наблюдениям) [149]

Особенности агроклиматических условий в сельскохозяйственных районах позволяют возделывать культуры в основном с коротким периодом вегетации. Основными культурами в области являются соя, зерновые и картофель, рисунок 1.3 [8], валовое производство которых показывает ежегодный прирост [8, 9]. По данным Министерства сельского хозяйства Амурской области, «в 2000 году вся посевная площадь составляла 660 тыс. га, а в 2018 году она увеличилась на 622 тыс. га и составила – 1282 тыс. га» [<http://agroamur.ru/2/rasteniivod.html>]. По данным Амурстата за 2018 год, основу структуры посевных площадей составляет соя – 986 тыс. га (более 70%) и зерновые культуры – 202,6 тыс. га (более 15%).

По данным Единого государственного реестра почвенных ресурсов России, разнообразный почвенный фонд Амурской области включает около 42,5% почв, пригодных для ведения сельского хозяйства. Наиболее плодородными и

разработанными почвами являются лугово-черноземовидные. Они характеризуются высоким плодородием, содержание гумуса в верхнем слое от 4 до 8%. Снижение содержания гумуса за последние 20 лет в лугово-черноземовидных почвах составляет от 11 до 30%, его ежегодная потеря 0,45 т/га. Наиболее распространены лугово-глеевые почвы, по плодородию занимающие второе место. Лугово-черноземовидные и лугово-глеевые оструктуренные почвы по механическому составу относятся к легким и средним суглинкам. Наибольшее распространение, около 60% пашни, занимают тяжелые суглинки и глины. Характерной особенностью этих почв являются маломощный, слабоструктуренный пахотный горизонт глубиной до 20 см и слабопроницаемый для влаги подпахотный слой из глины. При выпадении осадков это ведет к летне-осеннему переувлажнению и потере проходимости агрегатов. [147].

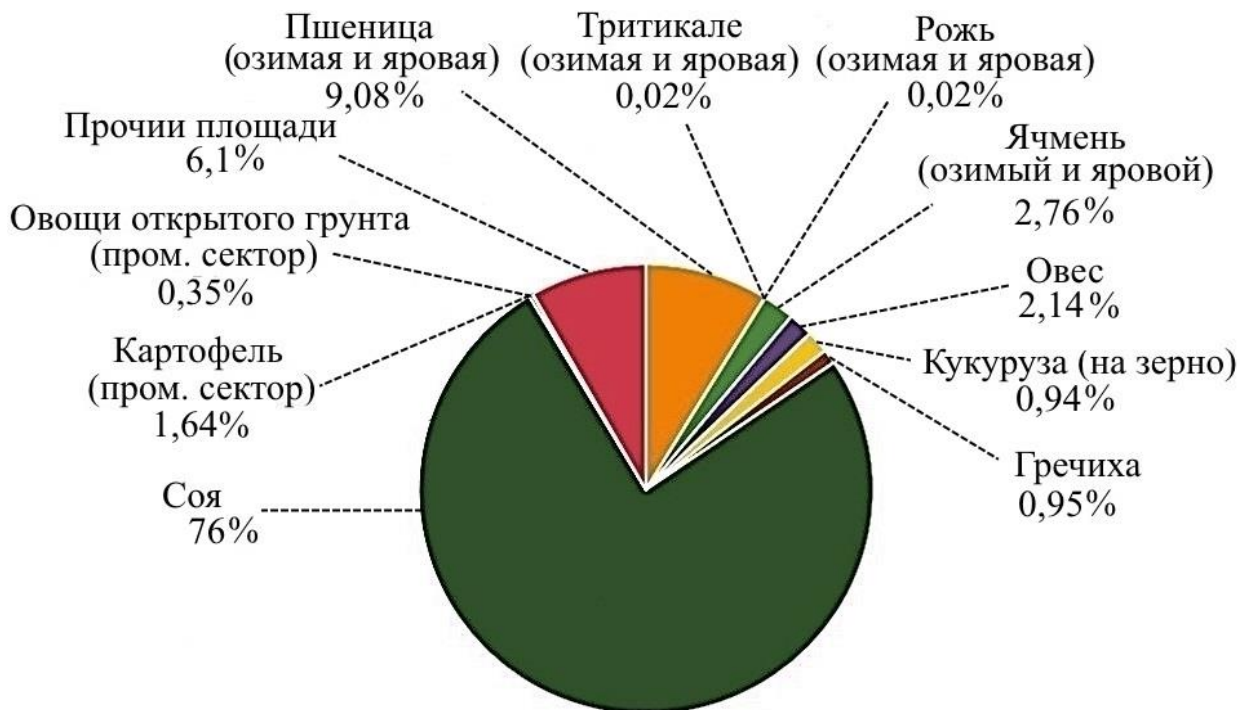


Рисунок 1.3 – Структура посевных площадей в Амурской области в 2017 году, %

Сельскохозяйственное производство Амурской области сконцентрировано в её южной части, где находится 79% всех посевных площадей. Южная зона Амурской области наиболее благоприятна по климатическим условиям для

возделывания сельскохозяйственных культур (таблица 1.1).

При проведении сельскохозяйственных работ необходимо учитывать позднее оттаивание почвы весной, наличие остаточной влаги в почве за счет осадков, выпавших в июле-сентябре прошлого года, маломощный пахотный горизонт (от 0,08 до 0,20 м), летне-осеннее переувлажнение, затрудняющее использование традиционных почвообрабатывающих машинно-тракторных агрегатов, необходимость дополнительных локальных мелиоративных агроприемов (почвоуглубление на глубину пахотного горизонта, нарезка гряд или гребней с водоотводными бороздами) [121].

Таблица 1.1 – Показатели природных условий южной зоны Амурской области [58]

| № п/п | Природно-производственные факторы | Показатель |
|-------|---|-------------------------------------|
| 1 | Среднегодовое количество осадков, мм: - в период посевной - в период уборочной | 400 - 800 40 300 - 400 |
| 2 | Дата начала и окончания полевых работ: - начала - окончания | 01.04 - 05.04 01.10 - 15.10 |
| 3 | Продолжительность полевых работ, дни | 170 - 190 |
| 4 | Наличие почв, % от площади пашни: - солонцовые - подверженные эрозии | до 9,0 8,6 |
| 5 | Тип почв по механическому составу, %: - легкие суглинки - средние суглинки - тяжелые суглинки - глинистые - другие (супесь, песок) | 17,7 21,3 25,8 31,7 3,5 |
| 6 | Рельеф | ровный |
| 7 | Пределы удельного сопротивления почв, кН/м | 40 - 70 |

Наибольшее влияние на эффективность использования колесных тракторов в почвообрабатывающих агрегатах будут оказывать возможность комплексного применения агротехнических приемов (совмещение операций); соотношение площади посева и пара; физико-механическая характеристика почвы во время выполнения работ: плотность, твердость, структура, влажность; размеры участков, их рельеф и микрорельеф.

1.2 Анализ состояния машинно-тракторного парка Амурской области

Техническое переоснащение растениеводства – основной фактор, обеспечивающий реализацию технологий выращивания сельскохозяйственных культур, однако финансовые возможности сельхоз товаропроизводителей не обеспечивают требуемой динамики обновления машинно-тракторного парка. Наблюдается общая тенденция снижения тяговой энергетики и шлейфа машин.

Анализ динамики парка тракторов и почвообрабатывающих машин по конец 2017 года представлен в таблице 1.2, он свидетельствует о ежегодном уменьшении их количества в сельскохозяйственных организациях Амурской области.

Таблица 1.2 – Динамика парка тракторов и почвообрабатывающих машин в сельскохозяйственных организациях Амурской области [<http://amurstat.gks.ru>]

| Материально-техническая база сельского хозяйства для обработки почвы | Год | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|
| | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
| тракторы, ед. | 2276 | 2208 | 2013 | 1929 | 1906 | 1901 |
| плуги, шт. | 545 | 537 | 420 | 358 | 321 | 302 |
| бороны, шт. | 4792 | 4108 | 2953 | 2312 | 2217 | 2136 |
| культиваторы, шт. | 675 | 655 | 591 | 514 | 486 | 417 |

Одновременно в области наблюдается устойчивая тенденция роста посевных площадей (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Динамика роста посевных площадей сельскохозяйственных культур в Амурской области [9]

| Посевные площади, тыс. га | Год | | | | | |
|--|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
| | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
| вся посевная площадь | 1001,3 | 929,3 | 1059,2 | 1165,1 | 1213,7 | 1260,0 |
| зерновые культуры | 222,8 | 177,7 | 194,4 | 180,2 | 218,9 | 201,2 |
| технические культуры (в том числе соя) | 682,4 | 650,0 | 766,4 | 885,2 | 894,5 | 965,4 |
| картофель | 20,1 | 20,2 | 20,4 | 21,1 | 21,3 | 20,7 |

Обеспеченность сельскохозяйственной техникой по Амурской области остается низкой, спрос на неё ежегодно растёт. Возросшая нагрузка, в исчислении гектаров пашни на один трактор, компенсируется приобретением тяжелых тракторов высоких тяговых классов, которые, в свою очередь, оказывают большое техногенное воздействие на почву, отрицательно влияющее на её плодородие [59]. На примере таблицы 1.4 видно, что за анализируемый период количество тракторов уменьшилось в 2,75 раза, а нагрузка увеличилась практически в три раза.

Таблица 1.4 – Динамика обеспеченности тракторами сельскохозяйственных организаций Амурской области [9]

| Показатели оценки | Год | | | | | |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
| количество тракторов, шт/1000га | 3,3 | 2,8 | 2,6 | 1,2 | 1,2 | 1,3 |
| нагрузка пашни, га/трактор | 303 | 357 | 779 | 816 | 842 | 767 |

Возрастной и марочный состав тракторного парка Амурской области на конец 2017 года по данным управления по технической политике Министерства сельского хозяйства Амурской области представлен в таблицах 1.5 и 1.6 [<http://agroamur.ru/news/2018/2018/201803281/>].

Большинство имеющихся тракторов работает за пределами сроков амортизации, что снижает качество выполняемых работ по возделыванию сельскохозяйственных культур (таблица 1.5).

Таблица 1.5 – Возрастной состав тракторного парка Амурской области

| Срок эксплуатации | % |
|-------------------|----|
| до 10-ти лет | 36 |
| свыше 10-ти лет | 64 |

Средние и крупные хозяйства активно приобретают тяжелые тракторы марок «Versatile», «Case», «New Holland», «John Deer», отечественные К-744. Однако, в структуре тракторного парка Амурской области около 43% занимают тракторы класса 1,4 и 19 % – устаревшие модели тракторов класса 3, (таблица 1.6).

Необходимо отметить, что пахотные агрегаты на базе трактора класса 1,4 применяются крайне редко, из-за низкой производительности и, как правило, эти тракторы используются на прифермерских и транспортных работах [122], 40% выполняемых ими работ приходится на работы по предпосевной подготовке почвы [145].

Основные полевые работы, из-за специфики природно-климатических условий проводятся в период, когда почва имеет слабую несущую способность. Большинство хозяйств использует на тракторах спаренные колеса, что повышает их тягово-сцепные свойства и снижает негативное техногенное воздействие на почву. Используемые в области широкозахватные почвообрабатывающие агрегаты применяются в основном на обширных массивах с большой длиной гона. На мелко-контурных полях со сложным рельефом использование широкозахватных агрегатов нецелесообразно, а иногда и невозможно [56, 58].

Таблица 1.6 – Распределение тракторного парка Амурской области по марочному составу, %

| Марка трактора | | | | | | | | |
|----------------|-------|--------|----------------|-------|---------------------|--------------|----------------------|--------|
| МТЗ | ДТ-75 | Т-150К | К-700 К-701 | К-744 | Buhler Versatile | John Deer | Case, New Holland | Прочие |
| 42,9 | 13,3 | 5,9 | 12,1 | 5,5 | 5,1 | 3,9 | 5,4 | 5,9 |

В этой связи, является актуальным вопрос применения тракторов класса 1,4 для основной обработки почвы, за счет их агрегатирования с машинами, работа которых обеспечивала бы высокую производительность и качество с минимальными затратами энергии на выполнение технологического процесса (комбинированные агрегаты, роторные почвообрабатывающие машины и т.д.).

1.3 Анализ использования приемов биологизации земледелия в Амурской области

За последние два-три десятилетия усилилось техногенное воздействие движителей на почву, в связи с чем, по оценкам специалистов имеет место

ежегодный недобор урожая по стране, в частности по зерновым, в размере от двадцати до тридцати миллионов тонн. При этом на обработке почвы перерасход топлива составляет до трех миллионов тонн [137]. Дальнейшее увеличение производства продукции растениеводства невозможно без внедрения ресурсосберегающих технологий, эффективного использования природного потенциала агробиоценозов, снижения техногенного механического воздействия на почву. Поэтому внедряя альтернативные технологии со способами и агротехническими приёмами, которые улучшают плодородие почвы отдается предпочтение варианту проведения механизированных работ, при котором воздействие МТА на почву будет минимальным [76]. Вопросам роста урожайности культур с одновременным снижением затрат, сохранения экологического равновесия в биосфере и получению экологически чистых продуктов посвящены исследования А.П. Авдеенко [1, 2], Е.К. Алексеева [7], К.И. Довбана [46], С.И. Камбулова [59, 60, 61], Ю.П. Кириленко [74, 75], М.В. Орешкина [101, 102], В.В. Русакова [117, 118], А.В. Сюмака [132, 133], О.В. Щегорец [142, 143, 144].

Камбуловым С.И. установлено, что для сохранения плодородия почвы следует применять послойную обработку почвы агрегатами с комбинированными рабочими органами, оснащенными криволинейными рыхлителями для мелкой обработки почвы и долота для глубокого рыхления. Применение комбинированных рабочих органов для послойной безотвальной обработки почвы позволяет сократить энерго- и трудозатраты и усовершенствовать выполняемый технологический процесс [59]. Рабочие органы позволяют одновременно производить послойную обработку почвы, глубокую от 0,25 до 0,35 м и мелкую от 0,12 до 0,16 м.

Румынскими учеными доказано, что минимальная обработка почвы с заделкой органической массы в четырехпольном севообороте: кукуруза – соя – пшеница – картофель, за период наблюдений «восстанавливает структуру почвы, улучшает дренаж, повышает плодородие почвы, а также защищает почву от водной и ветровой эрозии» [155].

Экологические аспекты машинных технологий при переходе на

биологическое земледелие подробно рассмотрены Е.П. Камчадаловым. В своих трудах он впервые разработал концепцию техногенно-нормируемой эксплуатации машинно-тракторного парка [62, 63]. Им же в соавторстве с Ю.Н. Рубаном, А.В. Липканем разработаны принципы возвратно-экологического земледелия и определены зонально-экологические задачи: «устранить переуплотнение почвы; снизить дегумификацию и повысить плодородие почвы; замедлить эрозию почвы; снизить негативное влияние весенней засухи и летне-осеннего переувлажнения за счет увеличения аккумулирующей способности почвы и снижения уровня техногенного химического и механического воздействия машин на почву сократить вегетационные потери урожая и энергетические потери от названных негативных факторов» [63].

Возникающие негативные последствия техногенного механического воздействия на биосферу при обработке почвы необходимо устранять. Снизить последствия при возделывании сельскохозяйственных культур, возможно с применением технологий, основанных на подходах системы биологизированного земледелия [78, 101]. Его основной задачей является замена химических средств защиты растений на природные ресурсы. Это приведет к увеличению урожайности культур при одновременном повышении плодородия почвы, к снижению техногенного механического воздействия и затрат на производство продукции. Важный способ защиты растений и повышения эффективности земледелия научно - обоснованный севооборот. При правильном чередовании культур польза от его применения несомненна. Не происходит накопления вредителей, болезней, свойственных для культур отдельных видов. Чередование растений с различной глубиной залегания основной массы корней обеспечивает с одной стороны их полноценное питание, с другой рациональное расходование и пополнение элементов питания в почве. Научное построение севооборота увеличивает экономический эффект от валового сбора урожая, уменьшает количество сорняков, улучшает экологию, повышает качество продукции [19].

Биологизированные технологии в Амурской области применяются при возделывании сои, зерновых культур, картофеля. Возделываемые в севооборотах

биологизированного земледелия культуры принципиально отличаются по требованию к глубине корнеобитаемого слоя почвы. Зерновые культуры имеют мочковатую, им достаточно глубины основной обработки почвы до 0,15 м. Корневая система сои имеет стержневую структуру и ее корни уходят за пределы пахотного горизонта. Соответственно, для сои необходима большая глубина основной обработки почвы (от 0,18 до 0,25 м). Картофель – культура рыхлых почв, для формирования гнезда клубней необходима глубина плодородного почвенного слоя до 0,3 м.

Доказано, что в биологизированном земледелии можно отказаться от приемов основной обработки почвы, образующих плужную подошву – глубокой вспашки и культивации, применяемых в севооборотах при традиционных технологиях. Основная обработка дисковыми рабочими органами на глубину 0,15 м в технологии биологизированного земледелия достаточна, чтобы сформировать необходимый плодородный слой для всех перечисленных культур при проведении дополнительных агроприемов, снижающих негативное влияние летне-осеннего переувлажнения почвы на рост и развитие растений (почвоуглубление на глубину пахотного горизонта, нарезка гряд или гребней). Максимальных результатов с использованием в технологии элементов биологического земледелия возможно добиться в научно-обоснованных севооборотах с тремя и более полями, так как разложение органики завершается за три года [91]. Трех и четырехпольные севообороты с сидеральным паром обеспечивают минимальную нагрузку на агробиоценоз.

Положительный эффект достигается использованием в севооборотах поля сидерального пара, как правило из сорной растительности, которая по продуктивности в двое выше сидерата из сои. Запаханые и находящиеся на поверхности поля растительные остатки в середине июля под воздействием высоких температур и муссонных дождей многократно усиливают активность почвенных микроорганизмов. Идет интенсивно минерализация сидератов в почве [74, 118]. Основные схемы севооборотов биологизированного земледелия в Амурской области представлены на рисунке 1.4.



Рисунок 1.4 – Схемы севооборотов биологизированного земледелия в Амурской области [74, 132, 143]

Кириленко Ю.П. [74] за счет применения ранних сортов картофеля использует в севообороте поля с однолетним и двухлетним сидеральным паром.

Щегорец О.В. [143] использует трехпольный севооборот, два из которых заняты картофелем, или предлагает одно поле сидерального пара занимать овощами – например, тыквой.

Дешёвое и легкодоступное органическое удобрение сидерального пара является неисчерпаемым и постоянно возобновляемым источником азота и органического вещества. Заделка биомассы сидератов в верхний слой почвы способствует сохранению и восстановлению плодородия почвы, положительно сказывается на развитии растений. Основано это на физическом законе росообразования и согласуется с данными И.Е. Овсинского [97], основоположника минимизации обработки почвы и биологизации восстановления ее почвенного плодородия. О.В Щегорец установлено, что данный прием равносителен внесению от 40 до 100 т/га перегноя и обеспечивает урожайность картофеля свыше 30 т/га [143, 144].

Обоснованность научных предположений подтверждают результаты научно

производственных опытов и фоновых агрохимических обследований полей КФХ «Деметра» и КФХ «Жуковина С.А.», проведенные в течение девятилетнего и трехлетнего периода соответственно [132, 134]. Внедрение технолого-технической системы данного направления для производства экологически чистой продукции А.В. Сюмаком, Ю.П. Кириленко и В.В. Русаковым, обеспечило увеличение содержания гумуса в почве на 1,2% и 0,4% в обоих хозяйствах, что свидетельствует о восстановлении плодородия почвы [133].

Анализ опыта возделывания культур в короткоротационных севооборотах позволил разработать схему культур севооборота и их предшественников (рисунок 1.5) и выделить пять циклов основной обработки почвы (таблица 1.7), отличающихся временем проведения работ и набором технологических операций:

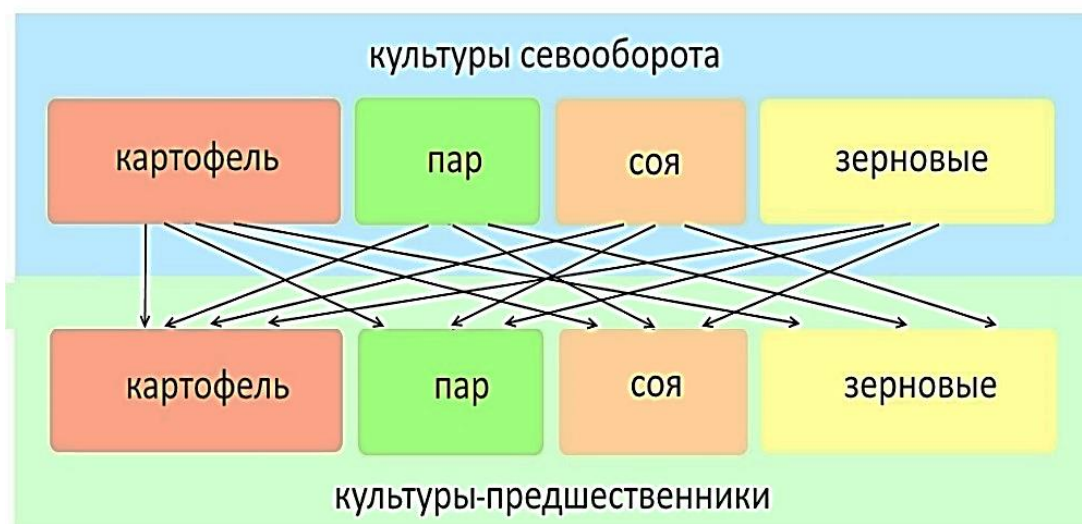


Рисунок 1.5 – Схема культур севооборота и их предшественников

- осенне-весенний продуктовый цикл;
- летне-весенний продуктовый цикл;
- паровой-продуктовый цикл;
- летний паровой цикл;
- осенний паровой цикл.

Количество технологических операций основной обработки почвы с

заделкой стерни и сидератов по циклам колеблется от трех до девяти, с соответствующим набором машин и рабочих органов.

Таблица 1.7 – Циклы и технологии основной обработки почвы в севооборотах

| Цикл | Культура и предшественник | Технологические операции |
|-----------------|--|--|
| осенне-весенний | зерновые по сое; зерновые по картофелю позднему | осеннее и весеннее дискование (в два следа); почвоуглубление; обработка вторичного сидерата дисками или ротором (под картофель) |
| летне-весенний | картофель по картофелю раннему; соя по картофелю раннему; зерновые по картофелю раннему; соя по зерновым; картофель по зерновым | дискование (или обработка ротором) стерни; дискование вторичного сидерата в два следа или обработка ротором вторичного сидерата и мелкая пахота; почвоуглубление |
| паровой | соя по пару; зерновые по пару; картофель по пару | измельчение сидерата ротором или укладка катком; мелкая отвальная вспашка или обработка дисками или ротором; одно – два осенних дискования; почвоуглубление; весенняя обработка вторичного сидерата (соя, картофель) дисками или ротором |
| летний паровой | пар по картофелю раннему; пар по зерновым | дискование (или обработка ротором) стерни; дискование вторичного сидерата в два следа или обработка ротором вторичного сидерата и мелкая отвальная вспашка; измельчение сидерата ротором или укладка катком; мелкая отвальная вспашка или обработка дисками, ротором; одно - два осенних дискования; весенняя обработка вторичного сидерата (соя, картофель) дисками или ротором; почвоуглубление |
| осенний паровой | пар по картофелю позднему; пар по сое | осеннее дискование в два следа; почвоуглубление; измельчение сидерата ротором или укладка катком; мелкая отвальная вспашка или обработка дисками или ротором; одно – два осенних дискования; весенняя обработка вторичного сидерата (соя, картофель) дисками или ротором |

Предпосевная обработка почвы и посев (посадка картофеля) не отличаются от принятой зональной системы технологий и машин для комплексной механизации растениеводства Амурской области [122]. Различие в выборе варианта основной обработки почвы в технологии биологизированного земледелия с заделкой сидерата в верхний слой почвы и сельскохозяйственных агрегатов для выполнения операций связано с организацией севооборота и предпочтения

разработчиков биологического земледелия. В основном она проводится по схемам, изображенным на рисунке 1.6.



Рисунок 1.6 – Схемы основной обработки почвы в технологии биологизированного земледелия

Очевидно, что снижение количества технологических операций ведет к снижению затрат и себестоимости продукции. По нашему мнению, представляется возможным применение нового приема и почвообрабатывающего агрегата (рисунок 1.6, схема №4), эффективно совмещающего в своей работе заделку сидератов, стерни и пожнивных остатков, основную обработку почвы, не образующую плужной подошвы на глубину до 0,15 м, и полосное почвоуглубление на глубину пахотного горизонта – от 0,2 до 0,25 м, предотвращающее в последствии переувлажнение почвы во второй половине лета и осенний период [144, 142]. Сочетание мелкой основной обработки почвы и полосного почвоуглубления положительно влияет на эффект росообразования [97] и динамику влагопереноса в почве [60, 61].

Для достижения цели исследований разрабатываемое техническое средство для комбинированного приема основной обработки почвы должно отвечать перечню требований:

- универсальность – приспособленность к севообороту, т.е. возможность его использования во всех циклах с законченностью технологического процесса основной обработки почвы на полях севооборота;
- комбинированность – совмещение технологических операций для одновременной обработки сидерата и почвы, стерни и почвы, с почвоуглублением на глубину не менее пахотного горизонта в зависимости от условий работы;
- рациональная компоновка технологической схемы с применениями активных и пассивных рабочих органов для обработки сидерата, стерни и почвы;
- агроэкологическая совместимость – допустимые нормальное давление на почву, буксование, тяговый диапазон и диапазон рабочих скоростей;
- энергетическая эффективность – минимум расхода топлива и энергетических затрат на единицу производительности.

1.4 Анализ преимуществ и недостатков применения конструкций почвообрабатывающих машин в технологиях альтернативного земледелия

Вследствие простоты и относительной надежности конструкции, большинство почвообрабатывающих машин оснащено ротационными рабочими органами (вращающимися вокруг общей или индивидуальной оси) [84, 136] – дисковые бороны, дисковые луцильники, дискаторы, различного вида дисковаторы, дисковые плуги.

Дисковые бороны и дискаторы выпускаются в прицепном и навесном вариантах с шириной захвата от трех до восьми метров. Они используются на основной и предпосевной обработке почвы и заделки пожнивных остатков. В качестве рабочих органов для дисковых борон и дискаторов используют сферические диски. Дисковые бороны и дискаторы достаточно хорошо оборачивают и крошат почву.

Исследованиям в области совершенствования обработки почвы дисковыми рабочими органами посвящены работы: А.П. Акимова [4, 6], В.В. Бледных [11], Е.В. Буцолич [12, 13], Ф.М. Канарева [67], Я.П. Лобачевского [83], А.А.

Редкокашина [112], А.В. Рыжкова [119] и других авторов.

Анализ научных работ показывает, что совершенствование обработки почвы пассивными дисковыми рабочими органами в основном заключается в изменении конструкции рабочих органов дисковых борон и дискаторов, то есть их расположения и навешивания, и только малая часть научных работ посвящены устойчивости агрегата с дисковыми роторными рабочими органами. Так, для увеличения курсовой и продольной устойчивости агрегата с навесной дисковой бороной, предлагается соединять секции бороны между собой упругими элементами с возможностью поворота относительно друг друга и регулирования их угла атаки. Для увеличения курсовой и продольной устойчивости агрегата в конструкции прицепной дисковой бороны применяется прицепное устройство, снабженное шарнирно-рычажным механизмом управления бороной в продольной и поперечной плоскостях.

К основным недостаткам применения дисковых борон и дискаторов на полях с тяжелыми по механическому составу почвах Амурской области можно отнести: неудовлетворительное измельчение обрабатываемого почвенного слоя; недостаточную выровненность поверхности; некачественную заделку сидератов и высоких пожнивных остатков в почву за один проход; забивание рабочих органов органическими остатками и почвой при повышенной влажности и липкости; высокие энергозатраты при рабочем ходе агрегата [98].

Активные ротационные рабочие органы присоединяются к раме машины и совершают вращательное движение под воздействием привода от ВОМ, гидросистемы трактора, двигателя размещенного автономно на агрегате [121].

Такие почвообрабатывающие агрегаты, помимо технологических функций могут выполнять функцию движителей и называются «рабочими органами-движителями» [88, 93]. Исследования и разработки агрегатов с «рабочими органами-движителями» являются актуальными. Активные ротационные рабочие органы нашли широкое применение при конструировании почвообрабатывающих машин. Это всевозможные пропашные фрезы и ротационные плуги, позволяющие обрабатывать почву на глубину от 10 до 45 см.

Фрезерование положительно сказывается на физических свойствах почвы, водном и питательном режиме растений. Перемешивание почвы повышает активность почвенной биоты во всем обрабатываемом горизонте [99]. Лидером производства роторных, фрезерных плугов является компания FALC (Компания FALC: [сайт]. URL: <http://www.falc.eu/ru/azienda.php>). Фрезерные плуги отличаются высокой эксплуатационной надежностью и хорошим качеством обработки почвы на глубину от 35 до 45 см (рисунок 1.7).



а)

б)

Рисунок 1.7 – Ротационные плуги, компании FALC:

а) ротационный плуг марки Freeland; б) ротационный плуг марки Falcland

Использование ротационных плугов на основной обработке почвы увеличивает производительность труда на 30% в сравнении с обработкой лемешным плугом. К основным недостаткам выпускаемых компанией ротационных фрезерных плугов можно отнести их высокую материалоемкость; агрегатирование с тракторами высоких тяговых классов; отсутствие оборота пласта при обработке почвы; невысокие рабочие скорости – до 6 км/час. Кроме того, по данным зарубежных исследователей, занимающихся проблемами оптимизации конструктивных параметров роторных рабочих органов известно, что работа рабочих органов фрезерных плугов связана с ударными нагрузками при

взаимодействии с почвой, что создает неуравновешенные моменты на роторе и снижает их эксплуатационную надежность [153].

Использование конструкций ротационных почвообрабатывающих машин двухпоточного использования мощности позволяет значительно повысить качество обработки почвы; снизить до минимума количество операций по её подготовке под посев; увеличить эффективность использования мощности двигателя.

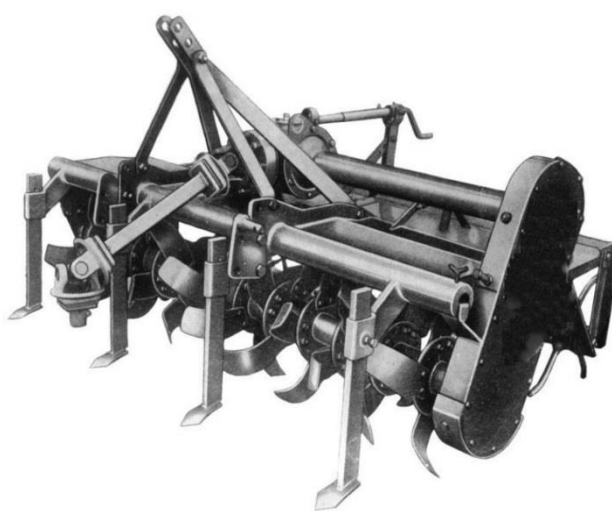
Примером машин двухпоточного использования мощности является комбинированное орудие «Вибро-тиллер», выпущенное фирмой «Станден» (Великобритания). Машина состоит из культиватора с пружинными зубьями и легкой фрезы, производит предпосевную обработку почвы после вспашки плугом (рисунок 1.8, а). Осуществляя проход, «Вибро-тиллер» выполняет работу трёх орудий: зубьями рыхлит почву, фрезой измельчает комки и глыбы, регулируемым по высоте откидным щитком кожуха выравнивает поверхность поля. Пример современной конструкции почвообрабатывающей машины двухпоточного использования мощности – комбинированная фреза с рыхлительными стойками (рисунок 1.8, б). Рыхлительные стойки позволяют сохранять продольную устойчивость (равномерность глубины хода рабочих органов) рабочей машины. Но лапы рыхлительных стоек при работе на глинистых и суглинистых почвах создают предпосылки к образованию плужной подошвы.

Исследованиям совершенствования фрез и рабочих органов ротационных фрезерных машин для обработки почвы посвящены работы И.М. Гринчука [30, 31], Ф.М. Канарева [65, 68], Н.Ф. Канаева [64], Ю.Н. Матяшина [86], И.М. Панова [107, 108], Г.Ф. Попова [110], Е.П. Яцука [150]. Проведенный анализ источников позволил сделать выводы, что крутящий момент, необходимый для привода фрезы в предварительно взрыхленной почве в три раза, а в комбинации с лемехом в пять раз меньше, чем для фрезы, работающей в монолитной почве; комбинированное орудие, в отличие от фрезы, требует значительно большего тягового усилия, которое лишь частично компенсируется подталкивающей реакцией активного ротационного органа; использование конструкций почвообрабатывающих машин

двухпоточного использования мощности позволяет увеличить эффективность реализации мощности двигателя, но на тяжелой почве комбинированное орудие менее интенсивно крошит почву, чем отдельная фреза.



а)



б)

Рисунок 1.8 – Комбинированные тягово-приводные фрезерные машины [16]:

а) комбинированная фреза «Вибро-тиллер»; б) комбинированная фреза с рыхлительными стойками

Серьезным недостатком фрезерных машин является то, что при определенных условиях горизонтальная составляющая реакции резания почвы на ротационных органах, направленная вперед по ходу движения МТА, может достигать величин, вызывающих неуправляемость трактора, а вертикальная составляющая способна выглубить фрезу. В условиях Амурской области фрезы не получили распространения из-за высокой энергоемкости, меньшей, чем у лемешных плугов производительности, а также излишне интенсивного крошения почвы, что приводит к быстрому уплотнению тяжелых суглинистых и глинистых почв, ухудшая их водно-воздушный режим и снижая активность почвенной биоты.

Одним из эффективных направлений совершенствования обработки почвы для технологии биологизированного земледелия может стать использование плугов с ротационными активными сферическими дисками. В этой связи

представляют интерес результаты исследований инженеров Южной Азии по оценке энергозатрат почвообрабатывающих машин с дисковыми и фрезерными рабочими органами. Разработанная ими модель позволяет оценить эффективность дисковых рабочих органов по сравнению с фрезой в зависимости от условий работы [151].

Основы теории ротационных плугов заложены Г.Е. Листопадом [82], А.Н. Карпенко [71], Н.И. Клепиным, П.С. Нартовым [95], Г.Н. Синеоковым [121]. К недостаткам конструкций дисковых плугов относятся плохая заглубляемость в почву (необходимость применения балластных грузов), а также работа на скоростях не более 7 км/ч.

По мере внедрения элементов биологического воспроизводства плодородия почвы [127] дальневосточными учеными проводились исследования по разработке почвообрабатывающего агрегата для новой технологии. Результатом работы стал выпуск роторных плугов для основной обработки почвы и заделки растительной массы, находящейся на поверхности поля. Их ширина захвата была от 1,3 до 2,4 м. Привод почвообрабатывающие машины получали от ВОМ трактора [114, 115]. Их выпуск осуществляли ДальНИИМЭСХ (г. Благовещенск) и Дальсельмаш (г. Биробиджан). В качестве прототипа использован плуг «Пауэр Диск PD-107» [109].

Одной из перспективных моделей навесного роторного плуга является плуг ПРН-1,8 для трактора класса 1,4 (рисунок 1.9). Плуг прошел многолетнюю производственную проверку в технологии биологизированного земледелия на пойменных почвах в КФХ «Деметра» [116]. Конструктивно-технологические особенности роторного плуга проявлялись в его работе. Заданная глубина обработки почвы (от 15 до 20 см) регулировалась установленными копирующими колесами.

Выравнивание поверхности поля осуществлялось за счет крошения почвы о зубья выравнивающего устройства. Стабилизация курсовой устойчивости обеспечивалась дисковым стабилизатором, имеющим регулировку угла установки. Роторный плуг обрабатывал почву с хорошим качеством. Сохранял прямолинейность движения работая на второй и третьей передаче. В качестве

недостатков конструкции отмечена неравномерность обработки почвы по глубине, нарушение курсовой устойчивости при движении агрегата на повышенных скоростях, самовыглубление при работе на твердых почвах и сравнительно низкая эксплуатационная надежность.



Рисунок 1.9 – Навесной роторный плуг ПРН-1,8 [69]

Роторный плуг-аналог ПРН-1,8 освоен промышленным производством Китайской Народной Республики в провинции Шаньдун компанией «Mainland China» (Компания «Mainland China»: [сайт]. URL: <https://www.mainlandchina.info/region-shandong>) и выпускается в настоящее время. К преимуществам роторных плугов марки 1LYQD можно отнести их небольшую массу и простоту конструкции (рисунок 1.10). Роторный плуг марки 1LYQD сохранил основные недостатками прототипа: выглубление ротора при обработке тяжелых суглинистых почв, необходимость догрузки рабочей машины балластным грузом, низкую эксплуатационную надежность.

Одним из последних вариантов роторного плуга для технологий биологического воспроизводства плодородия почвы является орудие ОВП-2,4,

разработанное ДальНИИМЭСХ, изображено на рисунке 1.11, предназначенное для осуществления технологического процесса почвообработки с одновременной заделкой биологической массы сидеральных растений в технологии биологизированного земледелия.



Рисунок 1.10 – Роторный плуг марки 1LYQD, модель 1LYQD-622

Его особенностью является интересное конструктивное решение проблемы курсовой устойчивости [111] за счет выбора угла атаки (18°) и задних углов резания дисков с отрицательным значением (минус 12°), обеспечивающих взаимное уравновешение поперечно слагающихся сил, действующих на дисковую батарею в процессе работы. Разработанный роторный плуг прошел широкую хозяйственную проверку в технологии биологизированного земледелия [135], в том числе – испытания на Амурской МИС [103] в технолого-технической системе биологизированного направления производства зерновых и сои. В ходе испытаний выявлено, что при работе на высоких скоростях, по причине установки дисков с задним углом резания с отрицательным значением нарушается процесс обработки почвы из-за выглубления рабочих органов [100].



Рисунок 1.11 – Роторный плуг ОВПП-2,4 конструкции ДальНИИМЭСХ на обработке сидерата

Агрегат на повышенных скоростях терял курсовую устойчивость. По результатам испытаний установлено, что в отдельные моменты колеса трактора двигались со скольжением. Из теории трактора известно, что в этом случае возникает циркулирующая в МТА паразитная мощность, создаваемая отрицательной касательной силой, которая нагружает трансмиссию трактора и создает в ней дополнительные механические потери [4, 80].

Из анализа направлений развития почвообрабатывающих машин можно сделать вывод, что роторные плуги являются наиболее эффективными и перспективными средствами обработки почвы в технологиях биологизированного земледелия [35]. Они в принципе могут обеспечить агротехнические сроки и качество выполнения основной обработки почвы; обладают удовлетворительными эксплуатационными и энергетическими показателями; элементами воспроизводства почвенного плодородия. Перспектива основной обработки почвы активными сферическими дисками в технологии биологизированного земледелия определяется рядом агротехнических и преимуществ. Машины с активными сферическими дисками не создают плужной подошвы. За один проход возможно

обеспечить основную обработку почвы с заделкой сидератов или стерни в верхний слой почвы. Обработка почвы роторным плугом обеспечивает структуру и сложение обработанного слоя почвы для активных обменных процессов, и минерализации органики, что положительно влияет на получение более высоких урожаев [42, 133]. В сравнении с пассивными почвообрабатывающими орудиями обработка почвы роторным плугом менее энергозатратная [88, 94].

Установлены основные недостатки существующих конструкций роторного плуга:

- движущая сила ротора при определенных условиях нагружает трансмиссию трактора и создает в ней дополнительные механические потери, а вертикальная составляющая реакции резания почвы способна выгнуть рабочие органы;

- вследствие того, что ротор машины установлен под определенным углом атаки, при проведении почвообработки возникает боковой увод МТА, что влияет на управляемость и курсовую устойчивость МТА. Для устранения этого недостатка существующие конструкции роторных плугов оснащаются дисковым стабилизаторами или стабилизаторами в виде полевой доски;

- плохая заглубляемость в почву рабочих органов, самовыглубление при работе агрегата на повышенных скоростях и на твердых почвах (необходимость применения балластных грузов);

- неравномерность обработки почвы, низкая эксплуатационная надежность, а также работа на скоростях не более 7 км/ч.

1.5 Анализ теоретических исследований по совершенствованию и оценке тягово-приводных агрегатов в агротехнологиях

Технологии биологизированного земледелия базируются на принципах конкурентоспособности за счет получения экологически безопасной продукции, ресурсосбережения, сохранения почвенного плодородия, энергетической эффективности.

Обязательным условием применения новых приемов в технологии остается

высокоэффективная работа адаптированных к биологизированной технологии агрегатов, оцениваемая агротехнической проходимостью – способностью передвигаться по полю с необходимой силой тяги, высоким тяговым КПД и качеством выполнения работы без ухудшения плодородия почвы [72, 79]. Научные основы и методы конструирования сельскохозяйственных машин заложены в работах В.П. Горячкина [21] – основоположника земледельческой механики. Основные принципы и методологические подходы по научному обоснованию конструктивных, эксплуатационно-технологических, энергетических параметров машинно-тракторных агрегатов нашли свое отражение в работах Ф.С. Завалишина [53], С.А. Иофинова [57]. Разработке перспективных почвообрабатывающих тягово-приводных агрегатов на принципах энергетической концепции и критериях их оценки посвятили свою научную деятельность В.В. Кацыгин [72, 73], И.П. Ксенович [79], Г.М. Кутьков [80, 81] Я.П. Лобачевский, [83, 84], А.А. Соловейчик [124, 125]. В качестве основных факторов, влияющих на качество выполнения технологических операций, они рассматривают тяговую динамику трактора: степень загрузки двигателя, тяговый КПД трактора, удельное сопротивление обрабатываемой почвы. При этом удельное сопротивление рабочей машины принимается критерием энергоемкости рабочего процесса, и определяет выбор конструкции рабочих органов в зависимости от состояния и физико-механических свойств почвы [90, 128].

Обоснованию конструктивных тягово-сцепных и мощностных параметров тягово-приводных роторных агрегатов посвящены исследования О.С. Марченко [85], В.И. Медведева [88], Р.М. Мусина [94], А.А. Соловейчика [126], В.Г. Шевцова [141]. Ими установлено, что в сравнении с традиционными машинами, оборудованными пассивными рабочими органами, почвообрабатывающие машины с приводными рабочими органами имеют более высокий механический КПД. Но и имеют высокую энергоемкость, связанную с высокими скоростями резания и степенью крошения почвы.

Этот вывод подтверждают зарубежные исследователи, которые испытывали фрезерные и дисковые плуги с различными рабочими органами на основной и

предпосевной обработке почвы и установили, что требуемая тяговая мощность и расход топлива значительно увеличиваются с увеличением скорости и глубины обработки, то есть с увеличением подачи пласта [152, 154].

Эффективным приемом снижения энергоемкости, в том числе, по мнению И.М. Панова [107] и А.Ф Жук [51], В.А. Юзбашева [146, 148] является изменение состояния монолита обрабатываемой почвы путем предварительного рыхления тяговыми рабочими органами, установленными перед ротором. Регулировать степень предварительного рыхления почвы следует в зависимости от пахотного или фрезерного режимов работы [128].

В теории трактора [32, 140] и теории эксплуатации машинно-тракторного парка [15, 57] энергетические затраты принято оценивать по величине либо общего КПД, либо на основе баланса мощностей (энергетический КПД агрегата).

Энергетический КПД агрегата характеризует соотношение полезно-используемых энергозатрат к общей энергии от сгорания топлива в двигателе [57]:

$$\eta_{энерг}^p = \frac{E_n}{E_o} = \frac{N_n}{N_o} = \eta_e \cdot \eta_o, \quad (1.1)$$

где η_e – эффективный КПД двигателя;

η_o – общий КПД энергетического средства.

Для тягово-приводного агрегата общий КПД можно представить в виде:

$$\eta_o = \eta_{тяги} \cdot \eta_{ВОМ}, \quad (1.2)$$

тогда

$$\eta_{энерг}^p = \eta_e \cdot \eta_{тяги} \cdot \eta_{ВОМ} = \eta_e \cdot \eta_f \cdot \eta_\delta \cdot \eta_{тр} \cdot \eta_{ВОМ}. \quad (1.3)$$

Таким образом, энергетический КПД дает достаточную оценку эффективности работы энергетического средства в агрегате, но не отражает точной картины энергетической эффективности применения агрегатов в технологии. Это связано с тем, что условия расчета и измерений строго регламентированы: они должны быть произведены при установившемся движении на горизонтальной поверхности, то есть при движении без переключения передач, остановок и поворотов трактора. Потеря курсовой устойчивости ведет к увеличению

буксования движителей и боковых реакций почвы при подворотах (потере мощности на преодоление трения при сдвиге и на увеличение сопротивления рабочих органов вследствие изменения скорости и направления движения трактора) [18, 20].

Исследования Л.В. Гячева [33, 34], Г.М. Кутькова [81] показывают, что потери мощности, связанные с динамическими процессами, протекающими в агрегате, могут достигать от 14 до 16% от общих затрат на выполнение работы. Например, по данным А.В. Рославцева [113] мощность на крюке трактора Т-150К при движении с подворотами может уменьшаться в сравнении с движением без подворотов на 15 л.с. при тяговом усилии 32 кН и на 50 л.с. при тяговом усилии 44 кН. Для поддержания требуемого направления движения оператор на вспашке при скорости от 5 до 7 км/ч совершает в течение часа от 500 до 600 воздействий на органы управления. Это занимает от 20 до 25% рабочего времени, при скорости движения от 9 до 11 км/ч доля рабочего времени на управление агрегатом повышается до 30%.

Решая вопросы управляемости и курсовой устойчивости, А.В. Рославцев [113] и Я.Е. Фаробин [138] рассматривают МТА как управляемую многозвенчатую динамическую систему, согласовывая между собою параметры и режимы работы машин посредством рационального подбора конструктивно-режимных параметров. Система будет устойчива, если обеспечивается возможность управления движения по желаемой траектории, и ее стабилизации независимо от возмущающих сил.

По мнению И.Б. Барского [10], Л.В. Гячева [34] на курсовую устойчивость агрегатов влияет суммарная реакция почвы, которая в силу неустановившегося характера создает разворачивающий момент относительно кинематического центра агрегата. Условие управляемости агрегатом зависит от результирующей реакции почвы на рабочих органах, тягового сопротивления и нормальных реакций на колеса трактора.

Гуськов В.В. [32] утверждает, что для рассмотрения вопросов курсовой устойчивости и управляемости агрегата целесообразно рассматривать

плоскопараллельное движение, пренебрегая отклонениями микропрофиля опорной поверхности. В качестве предельного случая потери управляемости рассматривается боковое скольжение передних управляемых колес. При повороте на некоторый угол они начинают двигаться со скольжением, и теряется управление трактором и агрегатом. Теоретически доказано, что критический угол поворота управляемых колес зависит от рабочей скорости движения, величины вылета точки прицепа $l_{кр}$. В.В. Гуськовым теоретически определена критическая скорость движения агрегата, превышение которой ведет к потере управляемости и курсовой устойчивости трактора и агрегата в целом, а А.В. Рославцевым [113] экспериментально найдено ее значение для тяговых агрегатов (2,07 м/с) что совпадает с результатами испытаний роторного плуга на Амурской МИС [103].

А.Н. Панасюком, Ю.Б. Курковым [104] установлено, что на управляемость и курсовую устойчивость влияет распределение нагрузки на ведущие колеса трактора при смещении точки прицепа от оси симметрии расположения ведущих колес.

Исследованиями Г.С. Горина, З.А. Годжаева [20], В.А. Николаева [96], В.А. Юзбашева [148] доказано, что установка полевых досок или иных стабилизаторов для уравнивания поперечных сил и реакций почвы при рабочем ходе агрегата ведет к дополнительным непроизводительным затратам энергии на грузоперемещение, смятие почвы, управление трактором.

Собственными исследованиями [100, 105] установлено, что курсовая устойчивость агрегата зависит от кинематической длины агрегата, сопротивления рабочих органов и ширины захвата рабочей машины. Дальнейшее развитие теория управляемости и курсовой устойчивости при рабочем ходе агрегата получила в трудах М.А. Мосякова [92], С.Д. Фомина [139], С.В. Щитова [14]. В работах дано теоретическое обоснование влияния конструктивно-эксплуатационных (мощность двигателя, колесная формула и сцепной вес трактора, производительность агрегата) и технологических (рабочая скорость агрегата, тяговое сопротивление и ширина захвата рабочей машины) на энергетические затраты при выполнении

полевых работы и курсовую устойчивость агрегата.

К основным показателям, характеризующим курсовую устойчивость агрегата, по их мнению, можно отнести:

- кривизну траектории движения, указывающую положение агрегата на поле;
- весовые и геометрические параметры агрегата и его частей, взаимное перемещение (положение) последних;
- управляющие воздействия при движении агрегата;
- режимы движения агрегата: скорость перемещения и нагрузка (силы, действующие на агрегат и его части);
- энергозатраты на самопередвижение и выполнение рабочего процесса.

Для оценки энергозатрат на самопередвижение и выполнение рабочего процесса О.Н. Дидманидзе и В.В. Кошкин [45] предлагают использовать критерий – энергозатраты при рабочем ходе агрегата E_n , Дж/м²:

$$E_n = \frac{N_H \cdot \varepsilon_N}{B \nu} \rightarrow \min \quad (1.4)$$

По их мнению, этот критерий учитывает влияние на энергетические затраты достаточный комплекс эксплуатационно-технологических свойств: удельное тяговое сопротивление на единицу ширины захвата рабочей машины, рабочую скорость агрегата, массу энергосредства и рабочей машины и т.д. В целом указанный критерий оценивает и тягово-цепные свойства энергетического средства, и эффективность работы агрегата.

С такой оценкой согласны А.А. Зангиев и В.А. Самсонов, но для того чтобы она отражала в большей степени эксплуатационные свойства агрегата А.А. Зангиевым [54, 55] и В.А. Самсоновым [120] предложено использовать критерий – максимум удельной чистой производительности агрегата в расчете на единицу мощности или расходуемой энергии Π_N , м²/Дж:

$$\Pi_N = \frac{B \nu}{N_H \cdot \varepsilon_N} \rightarrow \max \quad (1.5)$$

Критерий позволяет дать точную оценку эффективности агрегата по степени реализации мощности трактора в режиме рабочего хода. Так как, в обоих критериях

используется чистая производительности агрегата ($\text{м}^2/\text{Дж}$): они пригодны для сравнительной оценки агрегатов в любых почвенно-климатических зонах. Задача адаптации к технологии заключается в обосновании конструктивно-режимных параметров агрегата при заданной мощности двигателя по минимуму энергетических затрат [89].

Комплексный подход к оценке эффективности технологии производства сельскохозяйственной продукции с учетом работы усовершенствованных агрегатов предложен С.В. Щитовым, который включает показатели энергозатрат, тягово-сцепных свойств движителей и механического воздействия движителей энергетических средств и машин на почву. Усовершенствованная машинная технология будет эффективной в случае [145]:

$$\Delta E_{mn} = E_{mn\delta} - E_{mnn} \rightarrow \max. \quad (1.6)$$

Эффективность технологии с позиции энергосбережения оценивается по критерию:

$$k_{\varepsilon} = \frac{E_{mn\delta}}{E_{mnn}} > 1, \quad (1.7)$$

где E_{mn} – экономия полных энергозатрат в технологии, МДж/га;

$E_{mn\delta}; E_{mnn}$ – полные энергозатраты в базовом и новом вариантах технологий, МДж/га.

Анализ теоретических исследований по совершенствованию и оценке эффективности агрегатов позволил определиться с основными факторами, определяющими тягово-сцепные свойства и курсовую устойчивость агрегата, влияющими на качество выполнения технологических операций и энергетическую эффективность работы – режимы движения агрегата (тяговое сопротивление); ширина захвата и рабочая скорость; масса энергосредства и рабочей машины; кривизна траектории движения, действующие на агрегат силы; энергозатраты на выполнение рабочего процесса. Однако рассмотренные подходы не в полной мере учитывают вопросы инженерной агроэкологии. Совершенствование машин

проявляется в росте их эксплуатационной массы, а повышение производительности не учитывает приспособляемость к альтернативным технологиям получения экологически безопасной продукции.

1.6 Основные выводы по анализу состояния вопроса, цель и задачи исследования

На основании анализа состояния вопроса научных исследований можно сделать ряд выводов:

1. Используемые в области широкозахватные комбинированные почвообрабатывающие агрегаты применяются в основном на больших массивах пашни с большой длиной гона и малопригодны в технологиях биологизированного земледелия. На мелкоконтурных полях со сложным рельефом использование широкозахватных агрегатов нецелесообразно, а иногда и невозможно. Применение же существующих однооперационных малопроизводительных агрегатов не эффективно.

2. В крестьянско-фермерских хозяйствах Амурской области накоплен значительный опыт биологизации технологий. Повышение почвенного плодородия и увеличение урожайности в биологизированном земледелии обеспечивается измельчением и запашкой в верхний слой почвы стерни и растительной массы сидерального пара от 40 до 100 т/га. В этой связи применение тракторов класса 1,4 за счет их агрегатирования с машинами, совмещающими приемы основной обработки почвы с заделкой сидерата, стерни и пожнивных остатков на глубину до 0,15 метра и почвоуглубления, работа которых обеспечивает высокую производительность и качество выполнения технологического процесса является актуальным.

3. Анализ применения существующих конструкций роторных плугов с активными сферическими дисками, применяемых в технологии биологизированного земледелия, выявил их основные преимущества перед другими почвообрабатывающими машинами: они не создают плужной подошвы,

формируют оптимальную структуру обработанного слоя почвы, способны заделывать сидерат и пожнивные остатки в верхний слой почвы. Ротор в составе агрегата выполняет функцию движителя, по этой причине обработка почвы становится менее энергетически затратной.

4. Основные недостатки существующих конструкций роторных плугов для технологии биологизированного земледелия:

- движущая сила ротора при определенных условиях нагружает трансмиссию трактора и создает в ней дополнительные механические потери, а вертикальная составляющая реакции резания почвы способна выглубить рабочие органы;

- вследствие того, что ротор машины установлен под определенным углом атаки, при проведении почвообработки возникает боковой увод МТА, что влияет на управляемость и курсовую устойчивость МТА;

- плохая заглубляемость в почву рабочих органов, самовыглубление при работе агрегата на повышенных скоростях и на твердых почвах (необходимость применения балластных грузов);

- неравномерность обработки почвы по глубине, низкая эксплуатационная надежность, а также работа на скоростях не более 7 км/ч.

5. В качестве основных факторов, определяющих тягово-сцепные свойства и курсовую устойчивость агрегата и влияющих на качество выполнения технологических операций и энергетическую эффективность работы, следует рассматривать показатели эксплуатационных свойств: режимы движения агрегата (тяговое сопротивление); ширину захвата и рабочую скорость; массу энергосредства и рабочей машины; кривизну траектории движения, указывающую положение агрегата на поле; действующие на агрегат силы; энергетические затраты на выполнение рабочего процесса.

В ходе анализа литературных источников и теоретических исследований по совершенствованию машин с активными рабочими органами выдвинута **научная гипотеза**: для повышения эксплуатационно-технологических показателей почвообрабатывающего агрегата, снижения энергетических затрат на основной обработке почвы в технологии биологизированного земледелия целесообразно

использовать новый прием и комбинированную машину, оборудованную, как активными рабочими органами – сферическими дисками, так и пассивными рабочими органами – почвоуглубителями.

Установка на роторный плуг почвоуглубителей по следу колес трактора позволит совместить в технологии биологизированного земледелия технологические приемы основной обработки почвы с заделкой органической массы и полосного разуплотнения почвы на глубину пахотного горизонта, исключить боковой увод МТА во время обработки почвы. Обеспечит равномерность глубины хода сферических рабочих органов; работу трактора в тяговом диапазоне с высокими тяговым КПД и энергетической эффективностью [42, 97].

В результате анализа теоретических исследований обоснован **предмет исследования** – конструктивно-режимные параметры тягово-приводного агрегата, влияющие на эксплуатационно-технологические показатели выполнения приема основной обработки почвы.

В качестве **объекта исследования** определен процесс основной обработки почвы агрегатом с модернизированным роторным плугом в технологии биологизированного земледелия.

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.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ АГРЕГАТА ДЛЯ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

2.1 Выбор критериев оценки эффективности работы тягово-приводного машинно-тракторного агрегата

Технологии биологического земледелия базируются на принципах конкурентоспособности, сохранения и восстановления природных ресурсов (почвенного плодородия), адаптированных видах обработки почвы соответствующими агрегатами, энергосбережении – обязательном условии применения новых приемов в технологии, основанных на высокоэффективной работе агрегатов [36, 39].

В качестве критериев оценки эффективности работы энергетического средства выберем минимум энергозатрат при рабочем ходе агрегата:

$$E_n = \frac{N_H \cdot \xi_N}{B \cdot v} \rightarrow \min, \quad (2.1)$$

где $B \cdot v$ – чистая производительностью агрегата, м²/с.

Обратная величина представляет собой не менее важную оценку – удельную чистую производительность агрегата на единицу мощности [118]:

$$П_N = \frac{B \cdot v}{N_H \cdot \xi_N} \rightarrow \max, \quad (2.2)$$

где $П_N$ – удельная производительность, м²/Дж;

N_H – эффективная номинальная мощность двигателя, Вт;

ξ_N – коэффициент использования номинальной мощности двигателя.

Выбор таких критериев отвечает одновременно высокой производительности и современным требованиям ресурсосбережения [120].

При этом должны соблюдаться условия:

$$\delta \leq \delta_q \leq \delta_n;$$

$$v \leq v_q \leq v_n,$$

где $\delta; \delta_q; \delta_n$ – текущее, допустимое и номинальное значение буксования, %;

$v; v_q; v_H$ – текущая, допустимая и номинальная рабочие скорости, м/с.

Для подтверждения правильности выбора указанных критериев воспользуемся определением энергетического КПД агрегата [57]:

$$\eta_{\text{энерг}}^p = \eta_e \cdot \eta_o, \quad (2.3)$$

где η_e – эффективный КПД двигателя;

η_o – общий КПД трактора при выполнении работы в составе агрегата.

Соответственно, η_e показывает эффективность использования теплотворной способности топлива:

$$\eta_e = 3,6 \frac{10^3}{g_e H}, \quad (2.4)$$

где H – теплота сгорания топлива, Дж/кг;

g_e – удельный эффективный расход топлива, кг/Вт·ч.

Общий КПД трактора представляет отношение полезно использованной мощности к затраченной, для тягово-приводного агрегата:

$$\eta_o = \frac{N_{\text{кр}} + N_{\text{вом}}}{N_e}, \quad (2.5)$$

где $N_{\text{кр}}$ – мощность на крюке, Вт;

$N_{\text{вом}}$ – мощность, затраченная на привод рабочих органов от вала отбора мощности, Вт;

N_e – эффективная мощность двигателя, Вт.

Обозначим затраты эффективной мощности двигателя на создание касательной силы тяги в тягово-приводном агрегате $N_{e(\text{тяг})}$, Вт;

$N_{e(\text{вом})}$ – затраты эффективной мощности, идущие на вал отбора мощности, Вт.

Тогда

$$\frac{N_{\text{кр}}}{N_{e(\text{тяг})}} = \eta_{\text{тяг}}, \quad (2.6)$$

$$\frac{N_{\text{вом}}}{N_{e(\text{вом})}} = \eta_{\text{вом}}, \quad (2.7)$$

где $\eta_{\text{тяг}}$, $\eta_{\text{вом}}$ – тяговый КПД и КПД ВОМ.

После некоторых преобразований, получим:

$$\eta_0 = \eta_{\text{тяг}}(1 - \xi_{\text{ВОМ}}) + \eta_{\text{ВОМ}} \cdot \xi_{\text{ВОМ}}, \quad (2.8)$$

где $\xi_{\text{ВОМ}}$ – коэффициент, отражающий долю мощности, используемую на привод рабочих органов от ВОМ [57].

$$\xi_{\text{ВОМ}} = \frac{N_{e(\text{ВОМ})}}{N_e}, \quad (2.9)$$

тогда
$$\eta_{\text{энерг}}^p = \eta_e \eta_{\text{тяг}}(1 - \xi_{\text{ВОМ}}) + \eta_{\text{ВОМ}} \cdot \xi_{\text{ВОМ}}. \quad (2.10)$$

Таким образом, для повышения энергетического КПД при рабочем ходе агрегата необходимо стремиться к увеличению доли мощности на привод рабочих органов от ВОМ.

Обозначим долю мощности на создание касательной силы тяги через коэффициент – e_N :

$$e_N = \frac{N_{e(\text{тяг})}}{N_H^e \xi_N}. \quad (2.11)$$

Тогда тяговый КПД для трактора в тягово-приводном агрегате можно выразить в виде:

$$\eta_{\text{тяг}} = \frac{\varphi_{\text{кр}} \cdot G_T \cdot v_p}{N_H^e \cdot \xi_N \cdot e_N}, \quad (2.12)$$

где $\varphi_{\text{кр}}$ – коэффициент использования веса;

G_T – вес трактора, Н;

v_p – рабочая скорость, м /с.

Соответственно, общий КПД трактора:

$$\eta_0 = \frac{\varphi_{\text{кр}} \cdot G_T \cdot v_p}{\xi_N N_H^e \cdot e_N} \cdot (1 - \xi_{\text{ВОМ}}) + \eta_{\text{ВОМ}} \cdot \xi_{\text{ВОМ}}. \quad (2.13)$$

Представим номинальную эффективную мощность, N_H^e в виде:

$$N_H^e = \frac{(P_{\text{кр}}^H + G_T \cdot f_T) v_H}{\eta_{\text{тр}}(1 - \delta_H)}, \quad (2.14)$$

где индекс «н» указывает номинальные значения тягового сопротивления, рабочей скорости и буксования;

f_T – коэффициент сопротивления качению трактора.

В свою очередь, тяговое сопротивление определяется [120]:

$$P_{кр} = (K_v + m_{рм} \cdot f_M) V_p, \quad (2.15)$$

где K_v – удельное тяговое сопротивление рабочих органов машины, Н/м;

$m_{рм}$ – удельная масса рабочей машины на единицу рабочей ширины захвата, Н/м;

f_T – коэффициент сопротивления качению рабочей машины.

$$\text{Тогда} \quad \eta_0 = \frac{(K_v + m_{рм} \cdot f_M) V_p v_p \cdot \eta_{тр} (1 - \delta_H) \cdot (1 - \xi_{вoм})}{G_T (\varphi_{кр} + f_T) v_H e_N} + \eta_{вoм} \cdot \xi_{вoм}, \quad (2.16)$$

где $\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии;

v_H – номинальная рабочая скорость, м/с;

G_T – вес трактора, Н.

Выразим чистую производительность в формуле (2.8) через общий КПД агрегата:

$$V_p v_p = v_H \frac{(\eta_0 - \eta_{вoм} \cdot \xi_{вoм}) G_T \cdot (\varphi_{кр}^H + f_T) e_N}{(K_v + m_{рм} f_M) \eta_{тр} (1 - \delta_H) (1 - \xi_{вoм})}. \quad (2.17)$$

Тогда удельная производительность на единицу мощности определяется:

$$P_N = e_N \frac{\eta_0 - \eta_{вoм} \xi_{вoм}}{(K_v + m_{рм} f_M) (1 - \xi_{вoм})} \rightarrow \max. \quad (2.18)$$

Отсюда, получим ограничение по удельному сопротивлению рабочих органов агрегата:

$$K_v \leq \frac{N_H \cdot \xi_N (\eta_0 - \eta_{вoм} \cdot \xi_{вoм}) \cdot e_N}{V_p v_p (1 - \xi_{вoм})} - m_{рм} f_M. \quad (2.19)$$

Подставив в последнее выражение значение η_0 и умножив на $\frac{V_p}{G_T}$ получим:

$$\frac{P_{кр}}{G_T} \leq \frac{\mathcal{E}_T \cdot \eta_{тяг} \cdot e_N}{v_p}, \quad (2.20)$$

$$\text{или} \quad \eta_{тяг} = \frac{\varphi_{кр} \cdot v_p}{\mathcal{E}_T \cdot e_N} \rightarrow \max, \quad (2.21)$$

где \mathcal{E}_T – удельная энергонасыщенность трактора, Вт/Н. по аналогии с энергонасыщенностью, Вт/кг.

$$\mathcal{E}_T = \frac{N_H}{G_T} = \frac{N_K}{\eta_{тр} G_T}. \quad (2.22)$$

Анализ выражений (2.18) и (2.21) показывает, что для достижения высоких значений чистой производительности на единицу мощности и тягового КПД при

заданной удельной энергонасыщенности трактора необходимо стремиться к увеличению рабочих скоростей за счет снижения удельного тягового сопротивления рабочих органов (уменьшение доли мощности (e_N), идущей на преодоление тягового сопротивления рабочей машины. Это заключение выполнимо при условии использования активных рабочих органов для создания дополнительной движущей силы (толкающей реакции ротора).

Подставляя известные выражения [57] в формулу (2.22):

$$N_k = \frac{N_{кр}}{\eta_{тяг}} \quad (2.23)$$

$$N_{(тяг)} = P_{кр} u_p, \quad (2.24)$$

где N_k – мощность, подведённая к колесу, Вт.

Получим выражение для рабочей скорости трактора:

$$u_p = \frac{\partial_T \eta_{тяг} \eta_{тр} G_T}{P_{кр}}. \quad (2.25)$$

Решая формулу (2.25) с учетом изменения рабочей скорости агрегата в тяговом и тягово-приводном режимах получим:

$$\eta'_{тяг} = \frac{P'_{кр}}{P_{кр}} \cdot \frac{1-\delta'}{1-\delta} \eta_{тяг}, \quad (2.26)$$

где $P_{кр}$, δ – тяговое сопротивление, N и буксование трактора в тяговом агрегате;

$P'_{кр}$, δ' – тяговое сопротивление, N и буксование трактора в тягово –приводном агрегате с дополнительной движущей силой от технологического модуля.

Или

$$\eta'_{тяг} = \eta_{тяг} \frac{v'_{opt}}{v_{opt}} \cdot \frac{\varphi'_{кр}}{\varphi_{кр}}. \quad (2.27)$$

Обозначив $k_v = \frac{v'_{opt}}{v_{opt}}$, $k_{кр} = \frac{\varphi'_{кр}}{\varphi_{кр}}$, будем иметь:

$$\eta'_{тяг} = \eta_{тяг} k_v k_{кр}. \quad (2.28)$$

Таким образом, установлено, что за критерии оценки работы тягово-приводного агрегата можно принять: тяговый КПД; чистую производительность и энергетические затраты при рабочем ходе агрегата, которые зависят от правильно подобранных рабочей скорости энергосредства и ширины захвата рабочей машины.

2.2 Обоснование конструктивно-режимных параметров тягово-приводного агрегата

При выборе рабочей скорости и ширины захвата для работы энергосредства с высоким тяговым КПД возможно решение компромиссной задачи.

Мощностной баланс тягово-приводного агрегата можно представить в виде:

$$N_e^H \cdot \xi_N = N_{\text{ВОМ}} + N_{\text{ТЯГ}}, \quad (2.29)$$

$$N_{\text{ВОМ}} = B_p u_p \cdot \alpha_N, \quad (2.30)$$

где α_N – удельная мощность на единицу подачи, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2/\text{с}}$.

Для горизонтального участка мощность двигателя, идущая на тягу $N_{\text{ТЯГ}}$ определится:

$$N_{\text{ТЯГ}} = \frac{K_v(\text{ТЯГ})}{\eta_{\text{ТР}}(1-\delta)} B_p u_p + \frac{G_{\text{Т}} f_{\text{Т}}}{\eta_{\text{ТР}}(1-\delta)} u_p, \quad (2.31)$$

тогда

$$N_e^H \cdot \xi_N = \alpha_N B_p u_p + \frac{K_v(\text{ТЯГ})}{\eta_{\text{ТР}}(1-\delta)} B_p u_p + \frac{G_{\text{Т}} f_{\text{Т}}}{\eta_{\text{ТР}}(1-\delta)} u_p, \quad (2.32)$$

или

$$N_e^H \cdot \xi_N - \frac{G_{\text{Т}} f_{\text{Т}}}{\eta_{\text{ТР}}(1-\delta)} u_p = \alpha_N B_p u_p + \frac{K_v(\text{ТЯГ})}{\eta_{\text{ТР}}(1-\delta)} B_p u_p. \quad (2.33)$$

Представим решение последнего уравнения в виде системы двух уравнений:

$$\left. \begin{aligned} N_e^H \cdot \xi_N - \frac{G_{\text{Т}} f_{\text{Т}}}{\eta_{\text{ТР}}(1-\delta)} u_p &= y_1 \\ u_p B_p \left(\alpha_N + \frac{K_v(\text{ТЯГ})}{\eta_{\text{ТР}}(1-\delta)} \right) &= y_2 \end{aligned} \right\} \quad (2.34)$$

Выразим буксование через коэффициент использования веса с помощью эмпирической формулы [120]:

$$\delta = \frac{a \varphi_{\text{кр}}}{b - \varphi_{\text{кр}}}, \quad (2.35)$$

где "a" и "b" – эмпирические коэффициенты, зависящие от агрофона и условий испытаний.

Найдем геометрическое решение системы уравнений:

– при $u_p = 0$; буксование также равно нулю, $y_1 = \xi_N N_e^H$;

– при $y_1 = 0$; $\varphi_{кр} = 0$; $v_p = \frac{N_k}{G_{тf}}$,

где, N_k – мощность, подведенная к ведущим колесам, $N_k = \eta_{тр} N_e^H \xi_N$.

Определим начальные условия для второго уравнения системы:

$$y_2 = v_p B \left(\alpha_N + \frac{K_v(\text{тяг})}{\eta_{тр}(1-\delta)} \right). \quad (2.36)$$

Удельное тяговое сопротивление $K_v(\text{тяг})$, определяется:

$$K_v(\text{тяг}) = a(k_0 + \zeta v_p^2), \quad (2.37)$$

при начальных условиях:

$$v_p = 0; y_2 = 0$$

Для решения второго уравнения системы построим потенциальные кривые изменения буксования, относительной рабочей скорости (v – отношения текущего значения рабочей скорости к расчетной, развиваемой при тяговом усилии с предельно допустимым буксованием) и тягового КПД в зависимости от коэффициента использования веса $\varphi_{кр}$ для трактора МТЗ-82 (рисунок 2.1), приняв для расчета: агрофон – стерня зерновых (для стерни зерновых, $a = 0,208$, $\beta = 0,757$, [120]).

Из рисунка 2.1 следует, что максимальные значения тягового КПД соответствуют интервалу относительной рабочей скорости (v) равном $1,0 \dots 1,5$; что соответствует рабочим скоростям в диапазоне от 2,4 до 3,6 м/с.

Используя значения v_p и $\varphi_{кр}$ (рисунок 2.1), при изменении ширины захвата рабочей машины B_p от 1,8 до 3,0 м, решим систему уравнений графическим способом (рисунок 2.2).

При этом N_e^H принята равной 58,8 кВт, КПД трансмиссии $\eta_{тр} = 0,92$, коэффициент сопротивления качению $f_T = 0,15$, удельный вес рабочей машины, приведенный к единице ширины захвата $m_{рм} = 3,5$ кН/м, удельное сопротивление $k_0 = 20$ кН/м², скоростной коэффициент $\zeta = 1,8$ кНс²/м⁴, удельная мощность на единицу подачи $\alpha_N = 2,5$ кВт/($\frac{м^2}{с}$) при глубине обработки – 0,15 м.

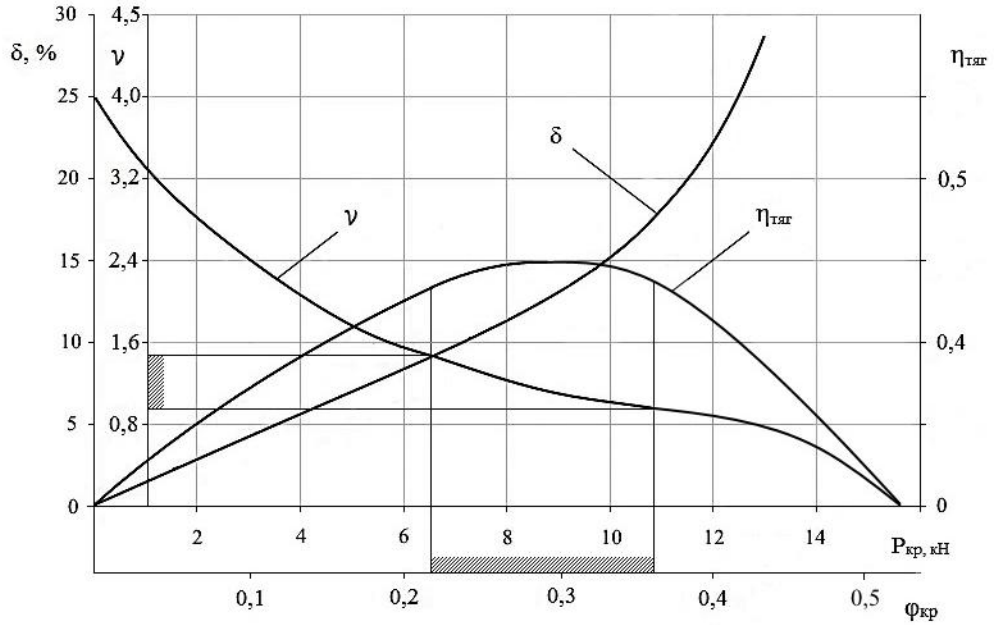


Рисунок 2.1 – Изменение буксования, относительной рабочей скорости и тягового КПД в зависимости от коэффициента использования веса

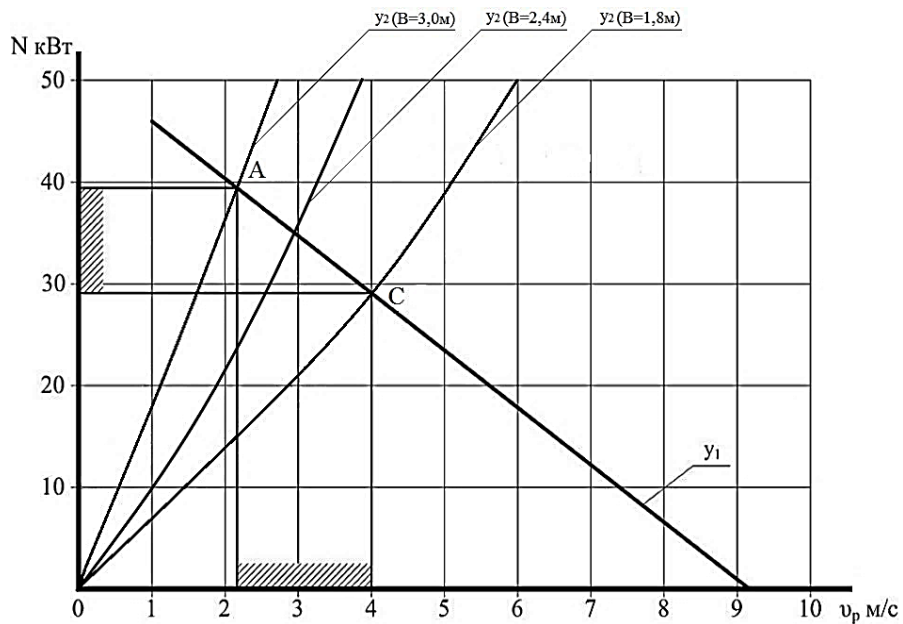


Рисунок 2.2 – Графическое решение системы уравнений для поиска чистой производительности агрегата

Расчетному максимальному значению тягового КПД соответствуют расчетные значения ширины захвата $B_p=2,4\pm 0,2$ м и рабочей скорости агрегата –

$v_p = 3,1 \pm 0,2$ м/с. , что соответствует чистой производительности от 7,20 до 7,44 м²/с. Таким образом, совместное геометрическое решение уравнений y_1 и y_2 позволяет найти чистую производительность ($B_p v_p$). Но из этого же следует, что одинаковой производительности при максимальных значениях тягового КПД можно достичь при работе на высоких скоростях и небольшой ширине захвата или на малых скоростях с большой шириной захвата.

2.3 Оптимизация рабочей скорости агрегата по критерию удельных энергетических затрат

Для определения ограничения рабочей скорости агрегата по минимуму энергозатрат при рабочем ходе агрегата E_n , Дж/м²:

$$E_n = \frac{N_H^e \cdot \xi_N}{B_p v_p} \rightarrow \min. \quad (2.38)$$

Используем ограничение по удельному тяговому сопротивлению рабочей машины K_v , кН/м², формула (2.19), чистая производительность определяется:

$$Bv = \frac{N_H^e \cdot \xi_N (\eta_0 - \eta_{\text{ВОМ}} \cdot \xi_{\text{ВОМ}}) \cdot e_N}{K_v + m_{\text{рм}} f_M (1 - \xi_{\text{ВОМ}})}, \quad (2.39)$$

тогда

$$E_n = \frac{N_H^e \cdot \xi_N \cdot (K_v + m_{\text{рм}} f_M) (1 - \xi_{\text{ВОМ}})}{N_H \cdot \xi_N (\eta_0 - \eta_{\text{ВОМ}} \cdot \xi_{\text{ВОМ}}) \cdot e_N}, \quad (2.40)$$

но

$$N_H^e \cdot \xi_N \cdot e_N = N_{(\text{ТЯГ})} = K_v Bv, \quad (2.41)$$

таким образом

$$E_n = \frac{N_H^e \cdot \xi_N \cdot (K_v + m_{\text{рм}} f_M) (1 - \xi_{\text{ВОМ}})}{K_v Bv (\eta_0 - \eta_{\text{ВОМ}} \cdot \xi_{\text{ВОМ}})}. \quad (2.42)$$

Для ограничения рабочей скорости по минимуму энергетических затрат при рабочем ходе агрегата найдем дифференциал функции и приравняем его к нулю:

$$\frac{dE_n}{dv} = 0.$$

Для тягово-приводных роторных машин удельное тяговое сопротивление рабочей машины определяется:

$$K_v = \alpha_N v + h_{\text{рот}} (k_0 + \zeta v_p^2), \quad (2.43)$$

тогда

$$\frac{dE_n}{dv} = \frac{N_H^e \cdot \xi_N (1 - \xi_{\text{ВОМ}}) (\alpha_N + 2h_{\text{рот}} \zeta v_p) K_v Bv - N_H^e \cdot \xi_N (1 - \xi_{\text{ВОМ}}) K_v^2 B}{(K_v Bv)^2} = 0. \quad (2.44)$$

Решая последнее уравнение, получим:

$$(\alpha_N + 2h_{\text{рот}}\zeta v_p)K_v Bv = K_v^2 B. \quad (2.45)$$

Отсюда ограничение рабочей скорости по минимуму энергозатрат при рабочем ходе агрегата, м/с

$$v_{p(\text{opt})} \leq \sqrt{\frac{K_0}{\zeta}}. \quad (2.46)$$

Проведенный расчет для ширины рабочей машины 2,4 м. при удельном сопротивлении $k_0 = 20 \text{ кН/м}^2$ и скоростном коэффициенте $\zeta = 1,8 \text{ кНс}^2/\text{м}^4$, (раздел 2.2) дает значение рабочей скорости $v_{p(\text{opt})} \leq 3,33 \text{ м/с}$, что соответствует графоаналитическому методу расчета диапазона рабочей скорости по мощностному балансу.

2.4 Обоснование основных конструктивных параметров роторного плуга с почвоугубителями

2.4.1 Обоснование числа оборотов почвообрабатывающего ротора

Работа роторного плуга в первую очередь определяется подачей почвенного пласта на рабочую поверхность ротационного органа, которая в свою очередь зависит от типа почвы ее твердости и обрабатываемого агрофона. Величина подачи пласта почвы – один из основных технологических параметров ротационных машин, определяющих степень крошения почвы. Из теории ротационных почвообрабатывающих машин известно [11, 86], что подача на нож зависит от показателя кинематического режима, λ – соотношения окружной скорости рабочего органа и поступательной рабочей скорости агрегата. С уменьшением показателем кинематического режима подача пласта увеличивается, а крошение почвы ухудшается. Выбор значения показателя кинематического режима λ зависит от физико-механических свойств почвы. Чем выше твердость и предел прочности почвы, тем больше тратится работы на ее деформацию тем меньше должна быть подача пласта и больше показатель кинематического режима λ . Из представленного

графика 2.3 (по данным [11, 12, 86]) следует, что для работы роторного плуга на суглинистых почвах твердостью свыше 1,2 МПа, типичных для Амурской области значении показателя кинематического режима следует принимать $\lambda \geq 4$.

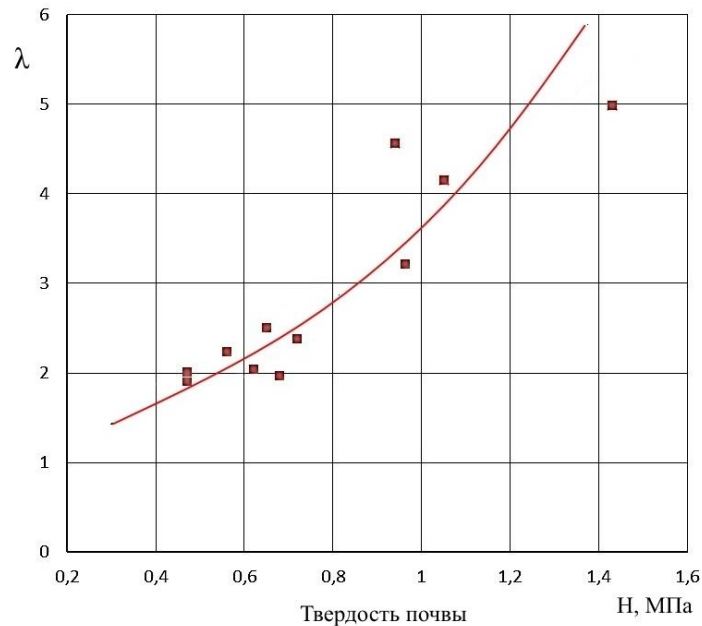


Рисунок 2.3 – Изменение показателя кинематического режима от твердости почвы

Выразим показателя кинематического режима через число оборотов ротора

$$\lambda = \frac{\pi n D}{60 v_p}, \quad (2.47)$$

где n – число оборотов ротора об/мин;

D – диаметр сферического диска, м;

v_p – рабочая скорость агрегата, м/с.

Отсюда

$$n = \frac{60 \lambda v_p}{\pi D}. \quad (2.48)$$

Приняв $\lambda=5$ и диапазон рабочих скоростей от 2,4 до 3,3 м/с, при рекомендуемом для почвообрабатывающих машин в биологизированном земледелии диаметре сферического диска $D = 0,66$ м получим диапазон оборотов ротора от 347 до 478 об/мин. При работе ВОМ с числом оборотов 540 об/мин принимаем передаточное число равным 1,4, что соответствует изменению показателя кинематического режима λ от 4 до 5,5 в диапазоне изменения рабочих скоростей v_p от 3,3 до 2,2 м/с. (число оборотов ротора 385 об/мин).

2.4.2 Обоснование угла атаки почвообрабатывающего ротора в биологизированном земледелии

При разработке конструкции роторного плуга необходимо ориентироваться на параметры рабочего органа, рисунок 2.4, которые обеспечат агротехнические требования по гребнистости дна борозды – не более 0,02 м.

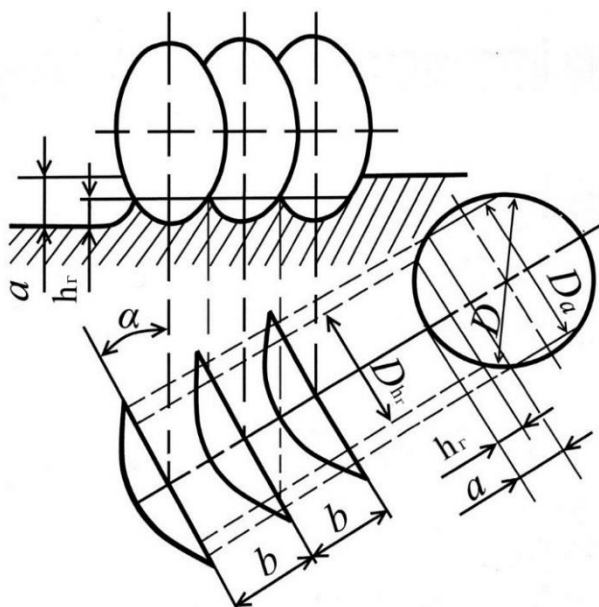


Рисунок 2.4 – Схема к определению гребнистости поверхности дна борозды

Из теории и расчета конструкций сельскохозяйственных машин высота гребней дна борозды h_r , м определяется по формуле [77]

$$h_r = 0,5D_p - 0,5\sqrt{D_p^2 - b^2 \operatorname{ctg}^2(\alpha/2)}, \quad (2.49)$$

где D_p - диаметр сферического диска ротора, м;

b - расстояние между дисками, м;

α - угол атаки ротора, град.

Исследованиями Канарева Ф.М. [67], Нартова П.С. [95] установлено, что удельное сопротивление роторного плуга с сферическими дисками зависит от угла атаки ротора. Минимальное значение удельное сопротивление принимает при угле атаки α от 25 до 35°. По данным исследований роторных плугов [12, 83], при глубине обработки от 0,15 до 0,20 м гребнистость дна борозды h_r в указанном диапазоне изменения угла атаки колеблется от 0,02 до 0,09 м в зависимости от

расстояния между дисками b .

Расстояния между дисками – важный технологический параметр, определяющий качество и надежность работы роторного плуга.

Во избежание нарушения технологического процесса из-за заклинивания почвы между дисками расстояние между дисками b рекомендуется выбирать исходя из условия [47],

$$b \geq 1,5a. \quad (2.50)$$

Таким образом при принятой глубине обработки расстояние между дисками $b \geq 0,225$ м.

Для проверки аналитических расчетов по формуле (2.49) построен график зависимости гребнистости от угла атаки и рекомендуемым диапазоном расстояния между дисками (рисунок 2.5).

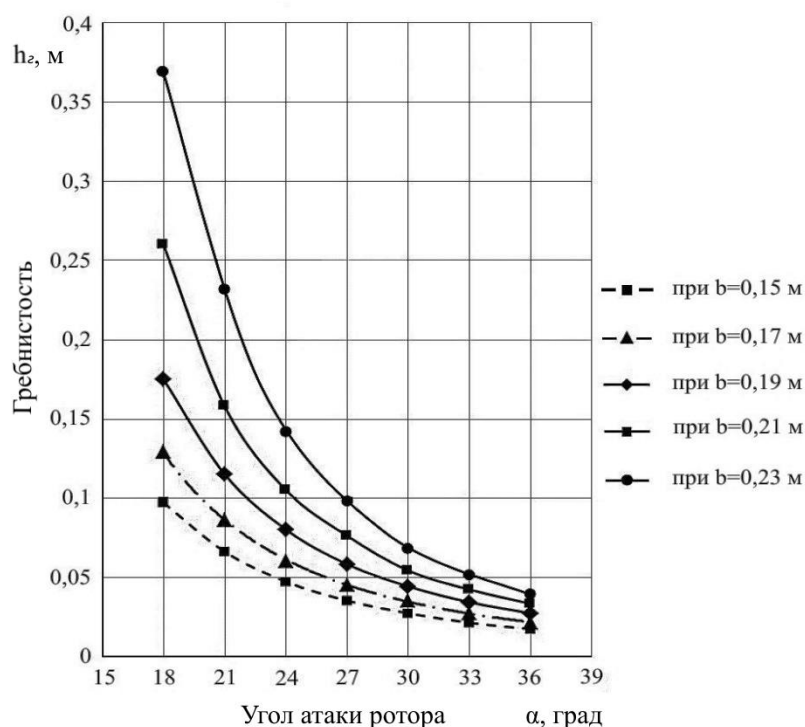


Рисунок 2.5 – Изменение гребнистости дна борозды от угла атаки и расстояния между дисками

Исследованиями П.С. Нартова [95], Я.П. Лобачевского [83] установлена зависимость между глубиной обработки почвы и диаметром диска:

$$a \leq \frac{D_p}{k}, \quad (2.51)$$

Значение коэффициента k для плугов принимается $k = 3 \dots 4$. С учетом того, что роторный плуг предназначен для обработки почвы на сидеральном и стерневом фонах примем коэффициент $k = 4$. При принятом диаметре сферического диска глубина обработки $a \leq 0,165$ м (при принятой в технологии $a = 0,15$ м).

Таким образом, при расстоянии между дисками $b = 0,23$ м, глубине обработки, $a = 0,15$ м, угол атаки рабочих органов роторного плуга должен быть не менее 23° (принимается $\alpha = 24^\circ$).

2.4.3 Обоснование конструктивных параметров почвоуглубителей

Основными показателями качества технологической операции почвоуглубления являются равномерность глубины хода рабочих органов при рабочем ходе агрегата и равномерность распределения образованных щелей по протяженности обработанной площади.

Для расчета конструктивных параметров почвоуглубителей примем начальные условия для графоаналитического метода расчета тягового диапазона и чистой производительности агрегата (раздел 2.2).

В тягово-приводном агрегате мощность затрачивается на привод рабочих органов от ВОМ и непосредственно на преодоление тягового сопротивления рабочей машины:

$$N_e^H \cdot \xi_N = N_{\text{ВОМ}} + N_{\text{тяг}}.$$

Преобразуя последнее выражение через удельное тяговое сопротивление K_v , [120] получим:

$$K_v = \alpha_N v_p + k_0 [1 + \Delta k (v_p^2 - v_0^2)]. \quad (2.52)$$

Используя расчетные значения ширины захвата рабочей машины $B_p = 2,4$ м, рабочей скорости $v_p = 2,4$ м/с, ($v = 1$) и $P_{\text{кр}} = 10,8$ кН (или 4,5 кН/м), при номинальном буксовании, рисунок 2.1, и принятые для аналитических расчетов усредненные

значения удельного тягового сопротивления для аналога конструкции роторного плуга – дисковой бороны ($k_0=1,6\dots 2,2$ кН/м), скоростного коэффициента ($\Delta k=0,144$ с²/м²), удельной мощности на единицу подачи ($\alpha_N = 2,5$ кВт/($\frac{m^2}{c}$)) [120] при глубине обработки почвы сферическими дисками – 0,15 м получим удельное тяговое сопротивление почвоуглубителей – $K_{пу} = 1,1$ кН/м, (или $P_{кр}=2,63$ кН). Глубина почвоуглубления с учетом мощности пахотного горизонта и глубины положения постилающего слоя [57, 136] принимается равной 0,25 м.

$$\text{С учетом того, что} \quad K_{пу} = \frac{P_{кр}}{B\alpha}, \quad (2.53)$$

рабочая ширина почвоуглубления составит $B_{пу}=0,14$ м, что соответствует двум стандартным долотообразным стойкам для глубокого рыхления с рабочей шириной лезвия $B_p=0,075$ м.

Расчетная длина ротора рабочей машины при принятом расчетном значении угла атаки - 24° равна 2,63 м. С учетом рассчитанного расстояния между сферическими дисками ($b=0,23$ м.) расчетная конструктивная длина ротора составит 2,76 м, соответственно, количество сферических дисков на батарее ротора – 12 штук.

Для определения места установки почвоуглубителей на рабочей машине примем порядок работы агрегата на загоне в виде чередования комбинированного и челночного способов движения. Тогда для сохранения качества обработки ротором перекрытие края обрабатываемых полос принимается равным $b \cos \alpha = 0,21$ м. При консольном расположении ротора, равном 0,9 метра, ширина между соседними щелями от почвоуглубителей будет равна 1,4 м, что соответствует месту установки почвоуглубителей по центрам следа ведущих колес трактора.

Такая расстановка почвоуглубителей позволяет устранить уплотнение почвы движителями трактора и провести согласно агротребованиям полосное разуплотнение тяжелых почв (глубина от 0,2 до 0,4 м, расстановка почвоуглубителей от 1,4 до 2,0 м.) [60, 85].

Для подтверждения гипотезы о роли почвоуглубителей в сохранении заданного направления движения – курсовой устойчивости при рабочем ходе

агрегата [105] рассмотрим схему стойки почвоуглубителя рисунок 2.6.

Сопротивление почвы деформации боковой поверхностью стойки почвоуглубителя определяется:

$$R = \sigma_{сж} \cdot S, \quad (2.54)$$

где $\sigma_{сж}$ – напряжение сжатия почвы, Н/м²;

S – площадь сжатия почвы, м².

Вследствие того, что боковая поверхность почвоуглубителя действующая на почву имеет форму параллелограмма, площадь сжатия почвы S , м², можно определить по формуле:

$$S = b_{ny} a_{ny}, \quad (2.55)$$

где b_{ny} – ширина стойки почвоуглубителя, м;

a_{ny} – глубина обработки, м.

Тогда значение стабилизирующей реакции почвы определится:

$$R_{пу} = \sigma_{сж} b_{ny} a_{ny} \quad (2.56)$$

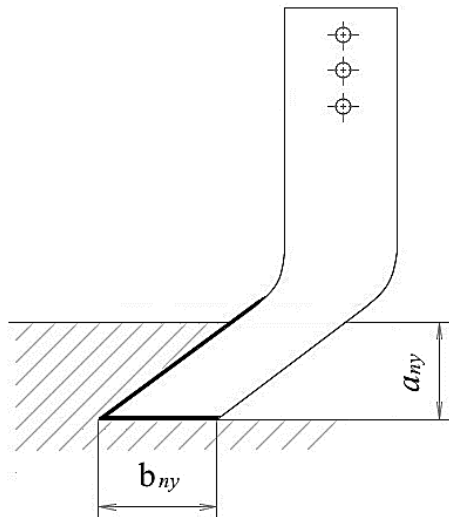


Рисунок 2.6 – Схема стойки почвоуглубителя (вид с боку)

Для определения ширины стойки почвоуглубителя рассмотрим схему сил и реакций, действующих на агрегат при рабочем ходе (рисунок 2.7).

К колесам трактора приложены касательная сила тяги P_k и сила

сопротивления движению F_f [37]. На роторный плуг передается от ВОМ крутящий момент $M_{кр}$, передаваемый от ВОМ трактора.

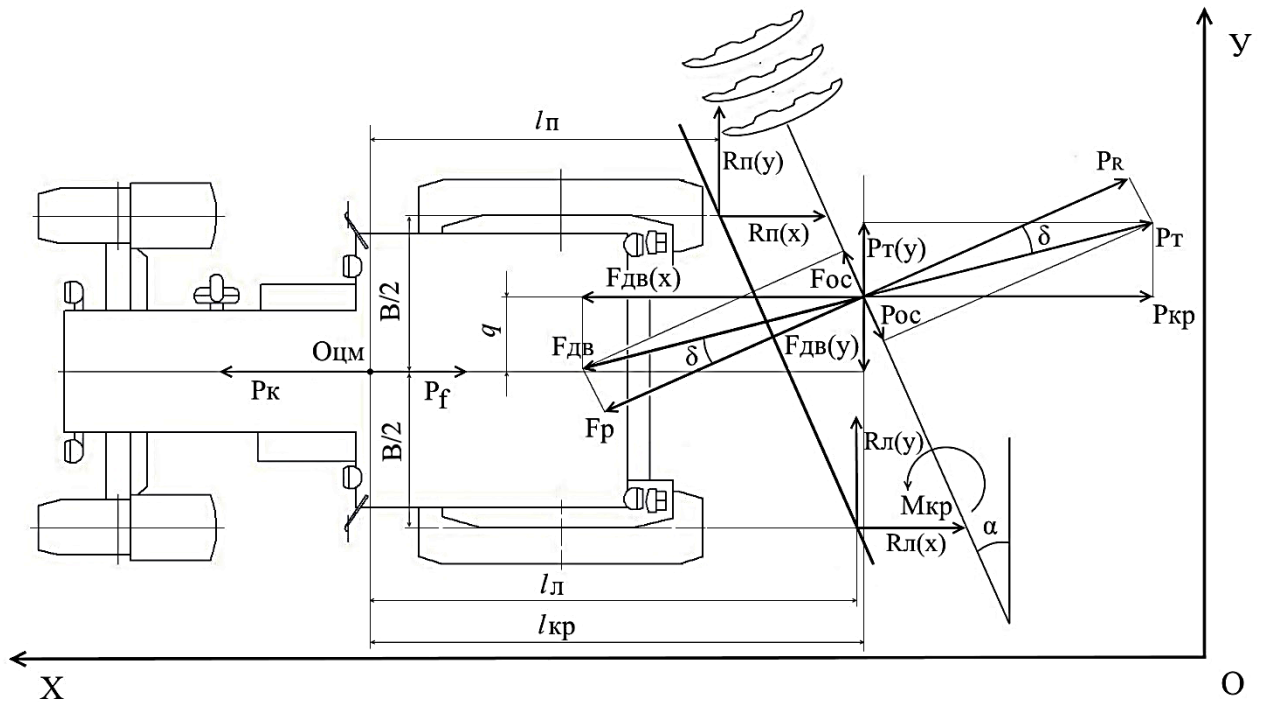


Рисунок 2.7 – Схема сил и реакций, действующих на МТА

При взаимодействии вращающихся сферических дисков с почвой возникают радиальная сила F_r и направленная вдоль оси ротора сила $F_{ос}$, геометрическая сумма которых образует движущую силу ротора $F_{дв}$. Реакции почвы P_R и $P_{ос}$ образуют тяговое сопротивление ротора рабочей машины P_T . При движении трактора на установленных правом и левом почвоуглубителях возникают реакции тягового сопротивления и $R_{п(x)}$ и $R_{л(x)}$. реакции почвы $R_{п(пу)}$ и $R_{л(пу)}$ препятствующие повороту трактора.

Для сохранения курсовой устойчивости агрегата должно выполняться условие:

$$\sum M_{o_{цм}} = 0 . \quad (2.57)$$

$$\begin{aligned} \text{Или } F_{дв(x)} \cdot q - F_{дв(y)} \cdot l_{кр} + P_{т(y)} \cdot l_{кр} - P_{кр} \cdot q + R_{л(y)} \cdot l_l + R_{л(x)} \cdot \frac{B}{2} + \\ + R_{п(y)} \cdot l_{п} - R_{п(x)} \cdot \frac{B}{2} = 0 , \end{aligned} \quad (2.58)$$

где $F_{дв(x)}, F_{дв(y)}$ – проекции движущей силы на оси координат,

$P_{кр}, P_{т(y)}$ – проекции тягового сопротивления на оси координат.

Почвоуглубители установлены на одинаковую глубину обработки, в этом случае тяговое сопротивление почвоуглубителей одинаково:

$$R_{л(x)} = R_{п(x)}, \text{ а } R_{л(y)} = R_{п(y)} = R_{пу}.$$

Тогда

$$(F_{дв(x)} - P_{кр}) \cdot q - (F_{дв(y)} - P_{т(y)}) \cdot l_{кр} + R_{пу}l_{п} + R_{пу}l_{л} = 0. \quad (2.59)$$

Представим:

$$\left. \begin{aligned} F_{дв(y)} &= F_{дв} \cdot tg(\alpha - \delta) \\ P_{т(y)} &= P_{т} \cdot tg(\alpha - \delta) \end{aligned} \right\}, \quad (2.60)$$

и

$$\left. \begin{aligned} F_{дв} &= \frac{F_{дв(x)}}{\cos(\alpha - \delta)} \\ P_{т} &= \frac{P_{кр}}{\cos(\alpha - \delta)} \end{aligned} \right\}, \quad (2.61)$$

тогда

$$(F_{дв(x)} - P_{кр}) \cdot q - (F_{дв(x)} - P_{кр}) \cdot \frac{tg(\alpha - \delta)}{\cos(\alpha - \delta)} l_{кр} + R_{пу}(l_{п} + l_{л}) = 0. \quad (2.62)$$

$$\text{Или} \quad (P_{кр} - F_{дв(x)}) \cdot q - (P_{кр} - F_{дв(x)}) \cdot \frac{tg(\alpha - \delta)}{\cos(\alpha - \delta)} l_{кр} = R_{пу}(2l_{п} + Btg\alpha). \quad (2.63)$$

Обозначим: $P_{кр} - F_{дв(x)} = \Delta F$, тогда:

$$R_{пу} = \frac{\Delta F}{(2l_{п} + Btg\alpha)} \cdot \left(l_{кр} \frac{tg(\alpha - \delta)}{\cos(\alpha - \delta)} - q \right). \quad (2.64)$$

Согласно [104] курсовую устойчивость агрегата можно повысить смещением центра масс или точки прицепа на величину $q = \frac{B}{4}$.

С учетом того что $R_{пу}$ определяется формулой (2.58), ширина стойки почвоуглубителя определится:

$$b_{ny} = \frac{\Delta F}{\sigma_{сж} a_{ny} (2l_{п} + Btg\alpha)} \cdot \left(l_{кр} \frac{tg(\alpha - \delta)}{\cos(\alpha - \delta)} - \frac{B}{4} \right) \quad (2.65)$$

Из геометрических соотношений:

$$l_{кр} = l_{п} + \frac{B}{4} tg\alpha$$

$$l_{л} = l_{п} + Btg\alpha$$

$$l_{\text{п}} = l_{\text{кр}} - \frac{B}{4} \operatorname{tg} \alpha$$

$$b_{\text{ny}} = \frac{\Delta F}{\sigma_{\text{сж}} a_{\text{ny}} (2l_{\text{кр}} + \frac{B}{4} \operatorname{tg} \alpha)} \cdot \left(l_{\text{кр}} \frac{\operatorname{tg}(\alpha - \delta)}{\cos(\alpha - \delta)} - \frac{B}{4} \right) \quad (2.66)$$

Таким образом, ширина стойки почвоуглубителя зависит от развиваемой роторным плугом движущей силы, глубины хода почвоуглубителей (a_{ny}), физико-механических свойств почвы ($\sigma_{\text{сж}}$) и конструктивных параметров роторного плуга: угла атаки ротора α и взаиморасположения центра масс роторного плуга и трактора (q и $l_{\text{кр}}$). Используя расчетные значения ширины захвата рабочей машины $B_{\text{р}}=2,4$ м, рабочей скорости $v_{\text{р}}=2,4$ м/с ($v=1$) и $P_{\text{кр}}=10,8$ кН (или 4,5 кН/м), при номинальном буксовании, расчетные данные удельного тягового сопротивления ротора ($K_{\text{рот.}v}$), из формулы (2.52) определим движущую силу ротора:

$$F_{\text{дв}} = K_{\text{рот.}v} B_{\text{р}} \cdot \quad (2.67)$$

Напряжение сжатия почвы принимаем согласно [32] ($\sigma_{\text{сж}} = 19,5$ кН/м²).

При малых углах δ отношение $\frac{\operatorname{tg}(\alpha - \delta)}{\cos(\alpha - \delta)} \approx 0,5$. Принимаем, что значение $\frac{B}{4} \operatorname{tg} \alpha$ по сравнению с $2l_{\text{кр}}$ пренебрежительно мало, (с погрешностью 10%).

$$\text{Тогда} \quad b_{\text{ny}} = \frac{\Delta F}{2\sigma_{\text{сж}} a_{\text{ny}} l_{\text{кр}}} \cdot \left(0,5l_{\text{кр}} - \frac{B}{4} \right) \quad (2.68)$$

Решая уравнение получим минимальное расчетное значение ширины стойки почвоуглубителя $b_{\text{ny}} = 0,154$ м. С учетом принятых приближений принимаем для конструкции роторного плуга стандартную стойку культиватора конструкции ДальНИИМЭСХ шириной 0,16 метра [106].

2.5 Краткие выводы по проведенным теоретическим исследованиям

1. Установлены критерии оценки работы тягово-приводного агрегата с роторным плугом в технологии биологизированного земледелия при проведении приема основной обработки почвы с совмещением операций: тяговый КПД; чистая производительность и энергетические затраты при рабочем ходе агрегата, которые зависят от правильно подобранных рабочей скорости энергосредства и ширины

захвата рабочей машины.

2. Для достижения высоких значений чистой производительности на единицу мощности и тягового КПД тягово-приводного агрегата с роторным плугом при заданной удельной энергонасыщенности трактора необходимо стремиться к увеличению рабочих скоростей за счет снижения удельного тягового сопротивления рабочих органов (уменьшение доли мощности (e_N), идущей на преодоление тягового сопротивления рабочей машины. Это заключение выполнимо при условии использования активных рабочих органов для создания дополнительной движущей силы (толкающей реакции ротора).

3. Методика и графоаналитический метод расчета на основе мощностного баланса тягово-приводного агрегата позволяют определить расчетный тяговый диапазон ($\varphi_{кр} = 0,22 \dots 0,36$) и интервал значений рабочих скоростей от 2,4 м/с до 3,6 м/с, при которых сохраняются максимальные значения тягового КПД и удельной производительности на единицу мощности.

4. Теоретические исследования и аналитические расчеты позволили получить расчетные геометрические и технологические параметры модернизированного роторного плуга для технологии биологизированного земледелия: диаметр сферического диска – 0,66 м; расстояние между дисками ротора – 0,23 м; угол атаки ротора – 24°; число оборотов ротора – 385 об/мин; ширина стойки почвоуглубителя – 0,16 метра; рабочая ширина лезвия долота почвоуглубителя – 0,075 м; глубина установки почвоуглубителей – 0,25 м; расстояние между почвоуглубителями на раме машины – 1,4 м.

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа экспериментальных исследований

Исследования применения нового приема основной обработки почвы модернизированным роторным плугом в технологии биологизированного земледелия проводились в течение трех лет (с 2015 по 2017 годы) на опытном поле ФГБНУ ДальНИИМЭСХ, с. Садовое, Тамбовского района Амурской области. Целью исследований была проверка достоверности полученных аналитических зависимостей, теоретических расчетов и эффективности применения технического средства, изучение качественных и количественных параметров приёма основной обработки почвы с совмещением операций заделки органической массы и полосного почвоуглубления модернизированным роторным плугом в зависимости от конструктивных параметров и режимов работы в соответствии с требованиями государственных стандартов ГОСТ 20915-2011. «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний», [22] ГОСТ 26244-84 «Обработка почвы предпосевная. Требования к качеству и методы определения» [23], ГОСТ Р 52778-2007 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки» [26], ГОСТ Р 54784-2011 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы оценки технических параметров» [28].

На основе анализа методической литературы по проведению полевого опыта [48], применения способов и технических средств контроля качества механизированных работ [123, и др.] и проведенных теоретических исследований составлена следующая программа экспериментальных исследований:

1. Установить достоверность теоретических предпосылок и аналитических расчетов конструктивно-режимных параметров и производительности агрегата.

2. Исследовать влияние конструктивно-режимных параметров

почвообрабатывающего агрегата на тягово-сцепные свойства, курсовую устойчивость трактора и эксплуатационно-технологические показатели агрегата.

3. Оценить агротехническую эффективность комбинированного приема основной обработки почвы с полосным почвоуглублением.

4. Разработать частные методики, приспособление и оборудование для полевых экспериментов и тяговых испытаний.

5. В производственных условиях провести эксплуатационно-технологическую оценку агрегата при проведении приема основной обработки почвы в технологии биологизированного земледелия, оценить его энергетическую и экономическую эффективность.

3.2 Экспериментальный образец роторного плуга для технологии биологизированного земледелия

Для проверки теоретических исследований и аналитических расчетов разработан и изготовлен экспериментальный образец модернизированного роторного плуга, изображенный на рисунке 3.1, с активными и пассивными рабочими органами (приложение В).

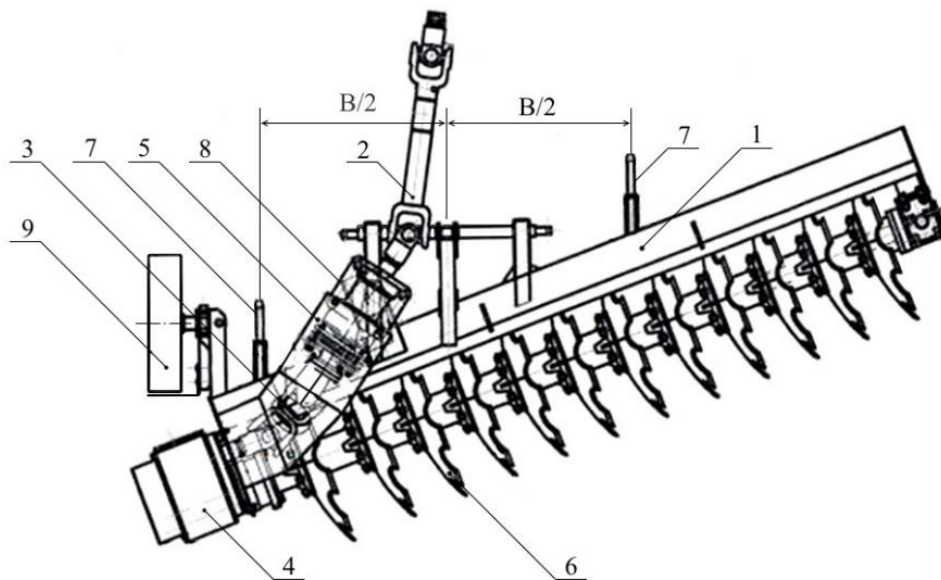


Рисунок 3.1 – Общий вид модернизированного роторного плуга:

Модернизированный роторный плуг состоит из рамы 1, на которой монтируются: батарея с активными сферическими дисками 6, цилиндрический редуктор 4, опора промежуточная 8 с карданными передачами 2 и 3 закрытых кожухом 5, колесо опорное 9, почвоуглубители 7. Крутящий момент от ВОМ трактора на цилиндрический редуктор 4 передаётся через опору промежуточную 8 карданными передачами 2 и 3.

3.3 Методика определения физико-механических свойств почвы

3.3.1 Определение объемной массы (плотности) и влажности почвы

Плотность и влажность почвы определяли по общепринятой методике [24, 49]. Объемную массу почвы определяли методом режущего цилиндра: при помощи почвенного бура вырезали определенный объем почвы с ненарушенной структурой, изображено на рисунке 3.2.

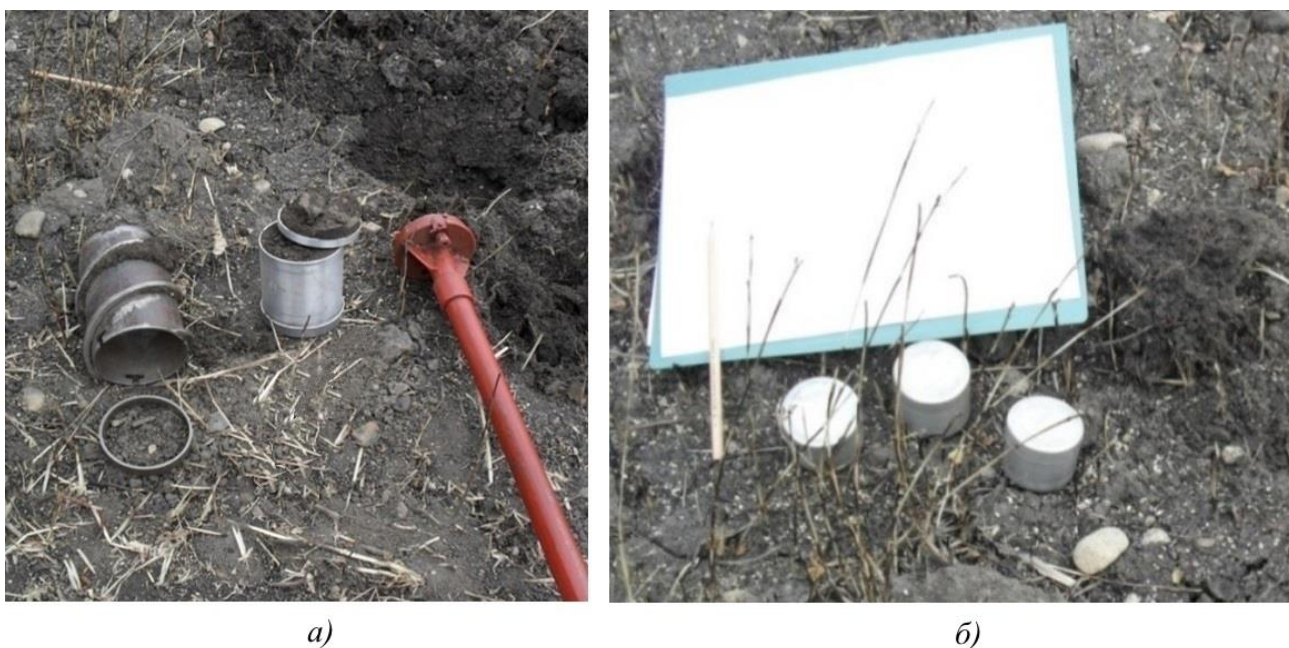


Рисунок 3.2 – Приборы для определения объемной массы (плотности) и влажности почвы: *а)* прибор для определения плотности почвы (НСИ) конструкции ДальНИИМЭСХ; *б)* бюксы (весовые стаканчики) для определения влажности почвы

Образцы почвы отбирали до прохода агрегата на глубине: от 0,05 до 0,10 м; от 0,10 до 0,15 м; от 0,15 до 0,20 м. Повторность опытов – пятикратная. Взятые почвенные пробы помещали в пронумерованные и взвешенные алюминиевые бюксы затем взвешивали с точностью до 0,01 грамма.

Плотность (объемной масса) почвы ρ , кг/м³ рассчитывается:

$$\rho = \frac{M}{V}, \quad (3.1)$$

где M – масса абсолютно сухой почвы в цилиндре, кг;

V – объем цилиндра, м³.

Для определения влажности почвы бюксы с почвенными пробами после взвешивания помещали в сушильный шкаф (рисунок 3.3) с температурой 105°C, и сушили в течение 5 часов до постоянной массы (рисунок 3.4).



Рисунок 3.3 – Шкаф сушильный, круглый 2В-151, № 187 (погрешность $\pm 1^\circ\text{C}$)

Массовое отношение влаги в процентах вычисляли по формуле:

$$W(\%) = \frac{M_1 - M_0}{M_0 - M} \cdot 100\%, \quad (3.2)$$

где M – масса влажной почвы, кг;

M_0 – масса сухой почвой с бюксой и крышкой, кг;

M – масса пустой бюксы с крышкой, кг.



Рисунок 3.4 – Электронные весы Штрих-Слим № 01460 ТУ 4274-015-45915116-2006 (погрешность $\pm 0,5$ г)

Ошибка при определении значения величины при использовании приборов

$$\Delta P = \Delta_1 P + \Delta P_2 \quad (3.3)$$

где $\Delta_1 P$ ошибка определяемая классом точности применяемых приборов;

ΔP_2 ошибка округления отсчета, которая не может достигать 0,5 цены деления.

3.3.2 Определение твердости почвы

Твердостью называется способность почвы сопротивляться проникновению в нее какого-либо деформатора. Универсальным способом определения твердости почвы является замер сопротивления почвы внедрению плунжера твердомера конструкции Ревякина. Твердость почвы замеряли в местах взятия проб для определения плотности и влажности в пятикратной повторности на глубину до 0,25 м.

Твердость почвы H , МПа определяли по формуле:

$$H = \frac{h_{cp} m}{F}, \quad (3.4)$$

где h_{cp} – средняя по пяти измерениям величина ординаты на твёрдограмме, м;

m – масштаб пружины, Н/м;

F – площадь основания плунжера твёрдомера, m^2 .

Средняя по пяти измерениям величина ординаты рассчитывается:

$$h_{cp} = \sum_{i=1}^5 \frac{F}{l} / 5, \quad (3.5)$$

где F – площадь диаграммы в опыте, m^2 ;

l – длина диаграммы в опыте, m .

3.4 Частные методики проведения экспериментальных исследований

3.4.1 Методика определения влияния угла атаки ротора на выполнение рабочего процесса

Изменение направления движения агрегата под действием возмущающих сил ротора ведет к изменению угла атаки α . [17, 18] (рисунок 3.5), от которого зависит качество обработки почвы. Изменение направления движения оценивается углом курсовой устойчивости γ (рисунок 3.6).

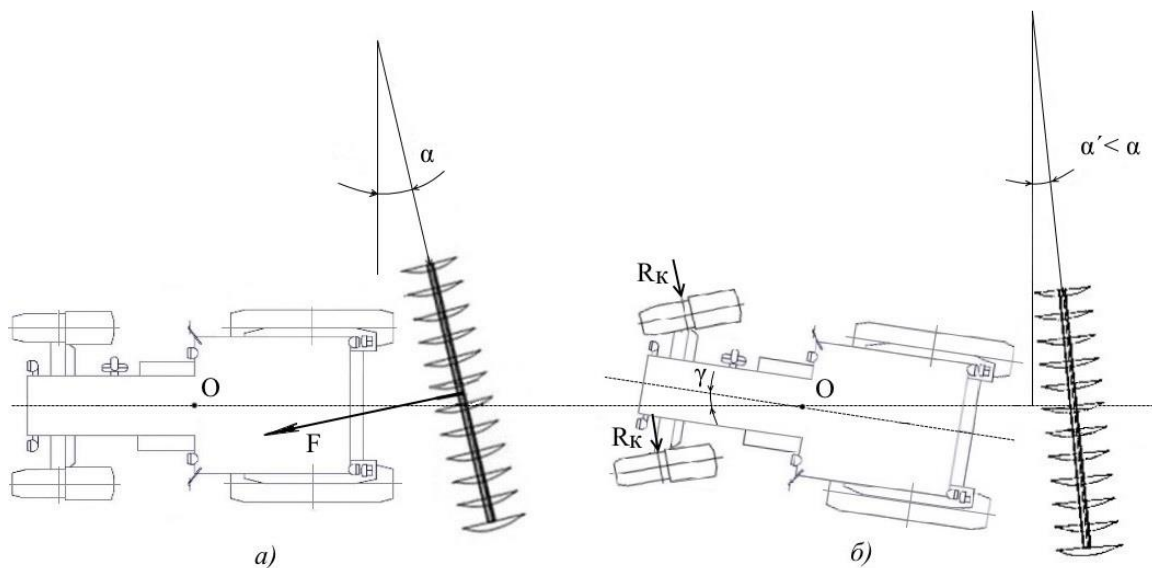


Рисунок 3.5 – Отклонение МТА от прямолинейного движения:

а) положение МТА до начала движения; б) положение МТА с началом движения

Методика оценки заданного направления движения машинно-тракторного агрегата при выполнении усовершенствованного приема основной обработки

почвы заключалась в определении угла отклонения почвообрабатывающего агрегата γ при обработке почвы на глубину от 0,05 м до 0,15 м, рабочей скорости от 1,38 до 2,5 м/с и углов атаки 18°, 24°, 30°.



Рисунок 3.6 – Изменение угла атаки роторного плуга:

а) $\alpha=30^\circ$; б) $\alpha=24^\circ$; в) $\alpha=18^\circ$

С целью проверки теоретических расчетов конструктивно – режимных параметров роторного плуга для основной обработки почвы с совмещением операций заделки органической массы в почву и почвоуглубления на раму 1 роторного плуга впереди ротора 6 устанавливались два почвоуглубителя 3 с шириной стойки $b_{ny}=0,16$ м, (рисунок 3.7).

Почвоуглубители имеют возможность регулировки глубины обработки от 0 до 0,25 м с шагом в 0,05 м.

Полевой эксперимент проводился при установке угла атаки ротора равным 24° с изменением величины заглубления почвоуглубителей (от 0 до 0,25 м) на передачах, позволяющих получить диапазон рабочих скоростей от 2,4 до 3,3 м/с, при глубине обработки почвы сферическими вырезными дисками 0,15 м.

Качество работы агрегата оценивалось равномерностью глубины хода ротора и почвоуглубителей и сохранением курсовой устойчивости машинно-тракторного агрегата.

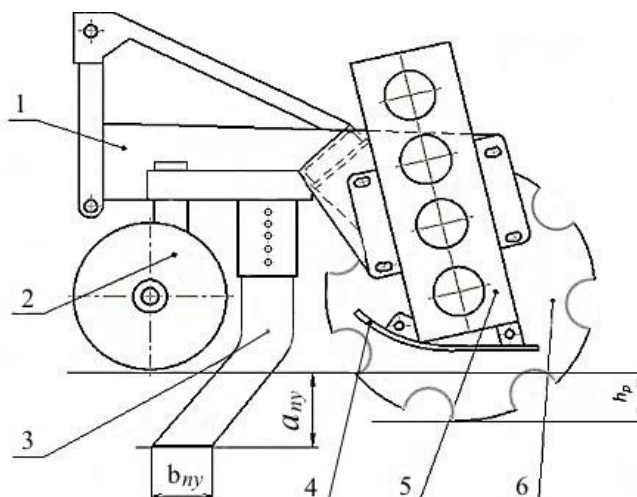


Рисунок 3.7 – Схема установки и регулировки глубины установки почвоуглубителей:

1 – рама; 2 – полевое колесо; 3 – почвоуглубители; 4 – опорный лист; 5 – редуктор; 6 – ротор; h_p – глубина обработки почвы сферическими дисками; a_{ny} – глубина установки почвоуглубителями; b_{ny} – ширина стойки почвоуглубителя.

Общий вид опытного образца модернизированного роторного плуга представлен на рисунке 3.8.



Рисунок 3.8 – Опытный образец модернизированного роторного плуга:

1 – правый почвоуглубитель; 2 – левый почвоуглубитель; 3 – ротор

3.4.2. Методика определения угла курсовой устойчивости

Точно измерить небольшие углы отклонения от заданного направления движения с использованием градусной меры на практике невозможно. Поэтому для определения угла курсовой устойчивости была использована регистрирующая аппаратура с использованием эффекта гироскопичности.

С начала загона агрегат на выбранной передаче двигался от 10 до 15 м, до достижения постоянной скорости. При этом оператор, воздействуя на рулевое колесо удерживал агрегат в заданном направлении. Затем по команде прекращал воздействие на управляемые колеса трактора. Через определенный промежуток времени агрегат останавливался, фиксировали время и радиус кривизны траектории. С допущением, что период времени (t) движения агрегата по криволинейной траектории от точки A_0 до точки A_1 достаточно мал, принимаем что агрегат двигался по дуге окружности радиусом R с углом отклонения $\Delta\gamma'$ (рисунок 3.9).

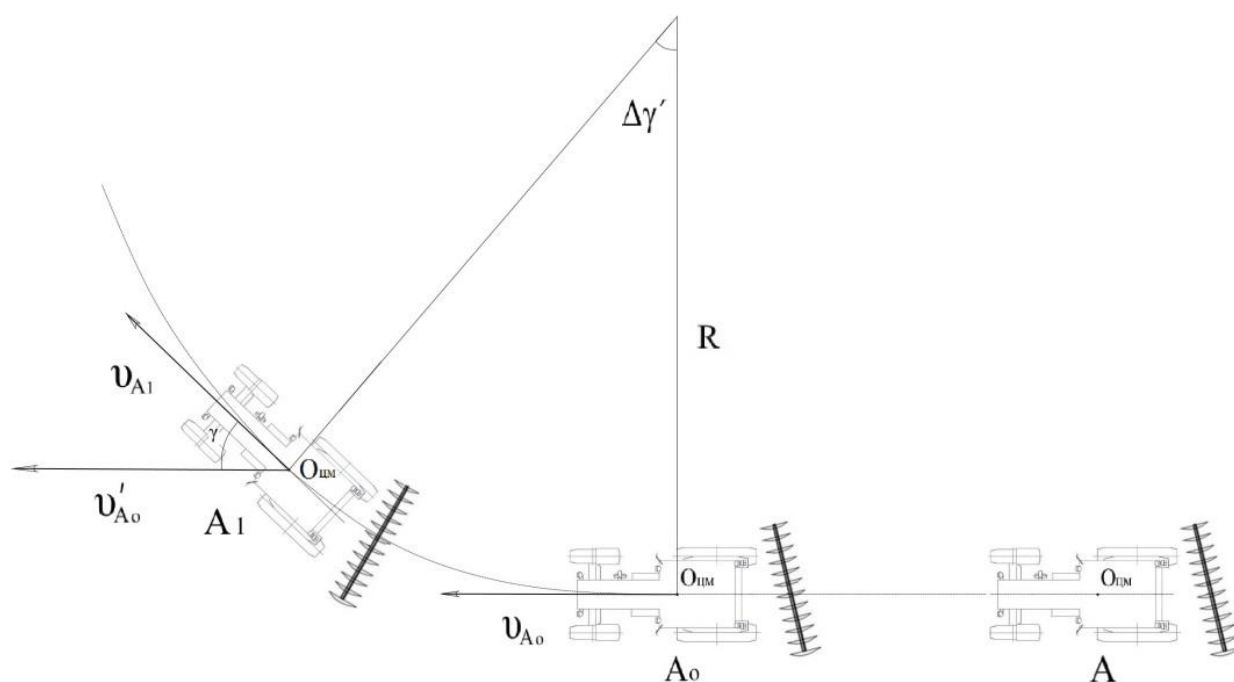


Рисунок 3.9 – Схема определения угла отклонения от прямолинейного движения агрегата

Для определения угла отклонения $\Delta\gamma'$ использовался гиropолукомпас ГПК-59. Питание гиropолукомпаса осуществлялось от дополнительной АКБ через преобразователь напряжения бортовой сети (рисунок 3.10).

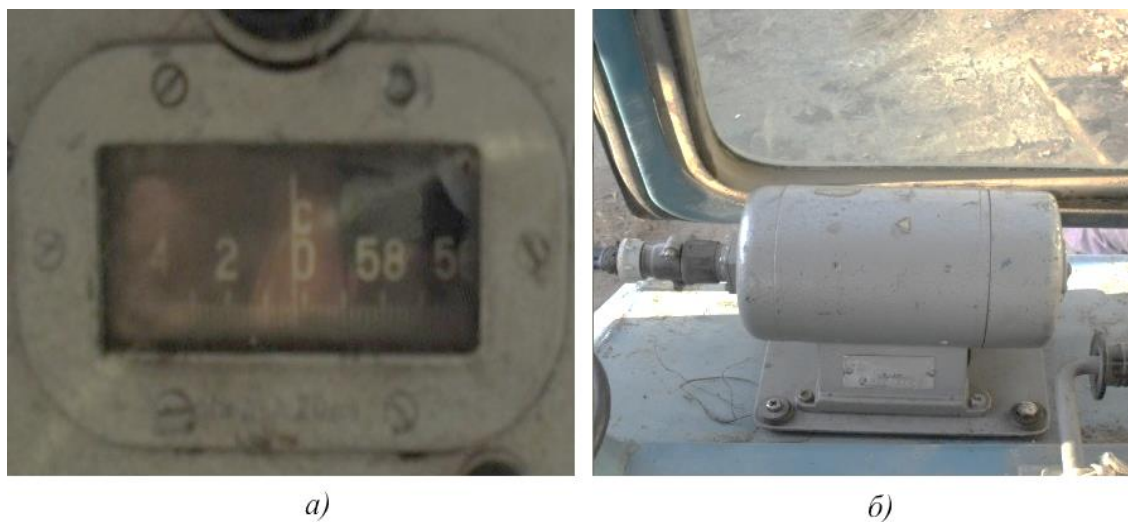


Рисунок 3.10 – регистрирующая аппаратура угла курсовой устойчивости:
a) шкала прибора ГПК-59; *б)* преобразователь напряжения бортовой сети ПАГ-1Ф

В качестве единицы измерения углов использовалась величина деления угломера, тысячная. Для последующих расчетов осуществлялся перевод тысячной в градусные меры угла.

Для измерения угла курсовой устойчивости приняли допущение, что окружность радиуса R , по которой движется МТА, разделена на 6000 равных частей, и точки деления соединены с центром окружности, полученные 6000 одинаковых центральных углов, каждый из которых приняли за действующую единицу измерения (рисунок 3.11).

Центральный угол, длина дуги которого равна $\frac{1}{6000}$ части длины окружности, соответствует делению угломера. Выразим длину дуги окружности l , равную одному делению угломера, в долях радиуса R :

$$l = \frac{2\pi R}{6000} \quad (3.6)$$

Подставив вместо π его значение, получим:

$$l = \frac{R}{955}, \text{ или } l \approx 0,00105R \quad (3.7)$$

Таким образом, одно деление угломера равно 0,00105 радиуса.

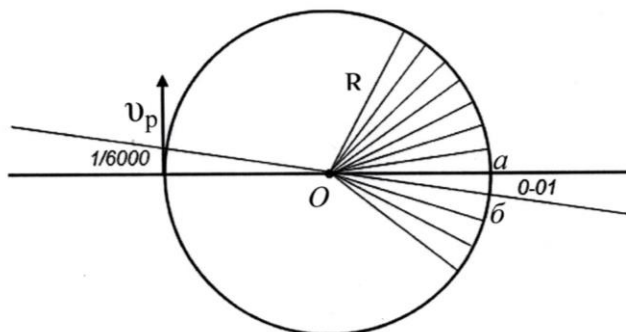


Рисунок 3.11 – Угол aOb , равный одному делению угломера: дуга $ab = l = \frac{R}{955}$
(для наглядности деление угломера на рисунке увеличено)

Если допустить, что $\pi=3$, а не как на рисунке 3.13, то в этом случае длина дуги, составляющая $\frac{1}{6000}$ окружности, будет равна:

$$l = \frac{2\pi R}{6000} = \frac{2 \cdot 3 \cdot R}{6000} = \frac{R}{1000} = 0,001R \quad (3.8)$$

Полученная единица измерения углов несколько меньше деления угломера, но находится в пределах доверительной погрешности, её и примем за тысячную.

В данном случае, тысячной можем назвать центральный угол, опирающийся на дугу, длина которой равна $0,001R$. Данная величина при проведении практических полевых экспериментов наиболее приемлема. Она используется в большинстве различных угломерных приборов: угломерных кругах, угломерах-квадрантах, лимбах компасов и т.д.

При необходимости всегда возможно от тысячных перейти к «натуральной тысячной», которая является произведением натурального значения тригонометрической функции тангенса угла на 1000 ($\text{tgy} \cdot 1000$), а от неё к угловой величине γ в градусах.

Тысячная и деление угломера, как меры углов, будут отличаться между собой

не более, чем на 5%. К примеру, угол, равный 100 тысячным, отвечает углу в 95 делений угломера; длина окружности составляет 6000 делений угломера или около 6280 тысячных.

На практике, особенно в отношении малых углов, как в нашем случае проведения эксперимента, приемлемо допущение, что деление угломера равно тысячной, т.е. «натуральную тысячную» можно безоговорочно приравнять к делению угломера.

Из определения деления угломера легко выводятся зависимости между градусной системой измерения углов и тысячной (приложение Г), соотношения указаны в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Зависимости между градусной системой измерения углов и тысячной

| Угловая мера в градусах | Угловая мера в тысячных |
|-------------------------|-------------------------|
| 360° | 60-00 |
| 180° | 30-00 |
| 90° | 15-00 |
| 45° | 7-50 |
| 6° | 1-00 |
| 1° | 0-16,7 |
| 3',6 | 0-01 |

При работе с малыми величинами углов удобней употреблять одно наименование «тысячная» (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Соотношение малых угловых величин

| Величины углов | | | |
|----------------|---------------------|------------|------------------------|
| в градусах | в делениях угломера | в тысячных | в натуральных тысячных |
| 0°30' | 0-08,3 | 0-08,7 | 0-08,7 |
| 1° | 0-16,7 | 0-17,5 | 0-17,5 |
| 2° | 0-33,3 | 0-34,9 | 0-34,9 |
| 3° | 0-50,0 | 0-52,4 | 0-52,4 |
| 6° | 1-00,0 | 1-04,7 | 1-05,1 |
| 15° | 2-50,0 | 2-61,8 | 2-67,9 |
| 30° | 5-00,0 | 5-23,6 | 5-77,4 |

При больших углах, меры углов становятся не сопоставимы.

С допущением, что движение МТА с устойчивым угловым отклонением, $\gamma = \text{const}$, по окружности равномерное, то есть $v_p = v_{A_0} = v_{A_1}$. Величина центрального угла $\Delta\gamma' = \Delta\gamma = \gamma$, как смежных углов. При малых углах γ длина дуги $A_0A_1 = v_p t$.

Установленная зависимость между величиной угла – в тысячных, длиной дуги и радиусом – которым описана данная окружность, позволяет оценить величину радиуса – R (рисунок 3.12).

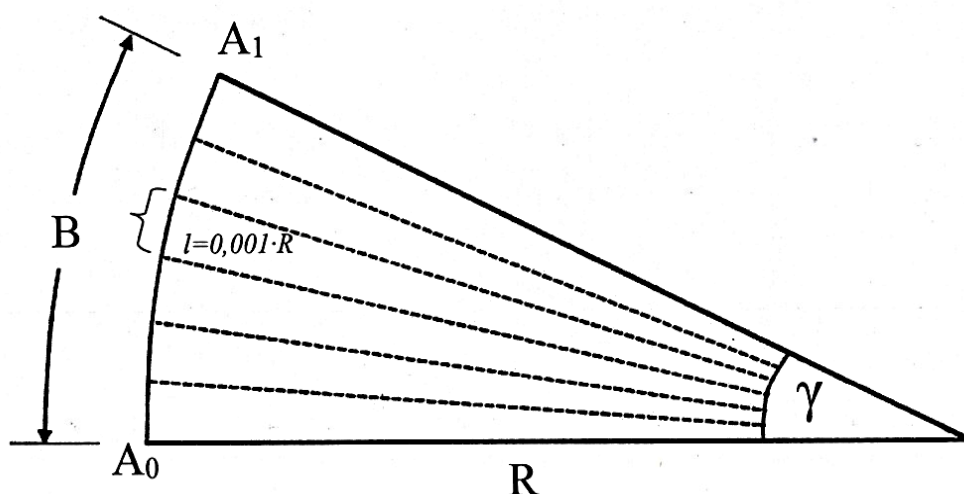


Рисунок 3.12 – Измерение радиуса описываемой окружности $B = l \cdot \gamma$, или

$$R = \frac{B \cdot 1000}{\gamma}, \text{ при } \gamma \text{ в тысячных угла}$$

Если $l = 0,001 \cdot R$, а угол между равноудаленными точками A_0 и A_1 в γ раз больше тысячной, то и длина дуги $B \approx A_0A_1 \approx S_{\text{МТА}}$ – пройденный путь МТА, будет больше дуги l так же в γ раз. Следовательно $B = l \cdot \gamma$, или $B = 0,001 \cdot R \cdot \gamma$, то есть:

$$R = \frac{B \cdot 1000}{\gamma}. \quad (3.9)$$

Пример работы МТА в агрегате с роторным плугом с установленными почвоуглубителями и без них представлен на рисунке 3.13.



Рисунок 3.13 – Траектории движения тягово-приводного агрегата при основной обработке почвы роторным плугом:

а) работа агрегата с почвоуглубителями (прямолинейное движение); *б)* работа агрегата без почвоуглубителей (с кривизной траектории движения)

3.4.3 Методика определения показателей качества выполнения основной обработки почвы роторным плугом

После прохода почвообрабатывающего агрегата определялись следующие показатели:

- гребнистость поверхности поля;
- фракционный состав почвы;
- равномерность глубины хода рабочих органов;
- равномерность глубины хода почвоуглубителей.

Показатели качества выполнения технологического процесса проводили на делянках длиной 25 м, шириной, равной ширине захвата машины в пятикратной повторности.

Гребнистость поверхности почвы определяли согласно СТО АИСТ 4.2-2010 [130]. После прохода агрегата на вершины гребней в местах, выбранных случайным образом, накладывали рейку и измеряли расстояние между гребнями от нижней грани рейки до дна борозды.



Рисунок 3.14 – Определение гребнистости поверхности почвы

Крошение (фракционный состав) почвы определяли по каждому опыту с площади 0,25 м² на глубину обработки. Отобранные пробы разделяли при помощи комплекта решет на фракции (рисунок 3.15). Решета в комплекте располагали в порядке уменьшения отверстий. При анализе проб в первую очередь с верхнего решета выбирали вручную крупные комки, а затем осторожными колебаниями почву просеивали на решетках с диаметром отверстий, соответствующих размеру фракций. Массовую долю фракции вычисляли по формуле:

$$П(\%) = \frac{M_i}{M} 100\%, \quad (3.10)$$



Рисунок 3.15 – Набор сит для определения фракционного состава почвы

где M_i – масса i -фракции комков почвы в пробе, кг;

M – общая масса пробы, кг.

Глубину обработки почвы измеряли линейкой (щупом), погружая ее в почву до необработанного слоя. Измерения проводили по каждому рабочему органу с равномерным интервалом по ходу движения машины. Равномерность глубины хода сферических дисков и равномерность глубины хода почвоуглубителей определяли согласно [129, 130].

Достоверность результатов оценивали средним арифметическим, стандартным отклонением и коэффициентом вариации.

Забивание и залипание рабочих органов оценивалось путем визуального осмотра по трёхбалльной шкале:

0 баллов – забивание и (или) налипание почвы и (или) растительных остатков делают невозможным выполнение технологического процесса основной обработки почвы;

1 балл – забивание и (или) налипание почвы и (или) растительных остатков снижают качество выполнения технологического процесса основной обработки почвы;

2 балла – забивание и (или) налипание почвы и (или) растительных остатков отсутствуют или не влияют на качество выполнения технологического процесса основной обработки почвы.

3.4.4 Планирование многофакторного эксперимента в полевых опытах

Теоретическими исследованиями установлено, что на качественные показатели работы агрегата основное влияние оказывают угол атаки роторного плуга, глубина обработки почвы, рабочая скорость.

Целью планирования эксперимента является получение представления отклика факторов [3], которое в общем случае можно записать в виде функции:

$$Y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), \quad (3.11)$$

где Y – выходной параметр оптимизации

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ – выбранные факторы, которыми можно управлять в ходе эксперимента.

Результаты эксперимента чаще всего выражаются полиномом (уравнением регрессии) в виде отрезка ряда Тейлора:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i \cdot x_i + \sum_{i<j}^n b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} \cdot x_i^2, \quad (3.12)$$

где b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} – коэффициенты регрессии;

n – количество факторов;

i – порядковый номер фактора

На основании аналитических расчетов и предварительных результатов полевых экспериментов определены области варьирования факторов (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Управляемые факторы и уровни их варьирования

| наименование факторов и их кодированное обозначение | угол атаки (α), град x_1 | глубина обработки почвы, (h) м x_2 | рабочая скорость (v_p) м/с x_3 |
|---|--|---|---|
| верхний уровень | 30 | 0,15 | 2,50 |
| нулевой уровень | 24 | 0,1 | 1,94 |
| нижний уровень | 18 | 0,05 | 1,38 |

Для нахождения коэффициентов уравнения регрессии составлена матрица проведения многофакторного эксперимента (таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Матрица многофакторного эксперимента

| № опыта | x_0 | x_1 | x_2 | x_3 | x_1x_2 | x_1x_3 | x_2x_3 | $x_1x_2x_3$ | Y_γ | Y_{Up} |
|---------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|-------------|----------------|------------|
| 1 | + | - | - | - | + | + | + | - | $Y_{\gamma 1}$ | $Y_{Up 1}$ |
| 2 | + | + | - | - | - | - | + | + | $Y_{\gamma 2}$ | $Y_{Up 2}$ |
| 3 | + | - | + | - | - | + | - | + | $Y_{\gamma 3}$ | $Y_{Up 3}$ |
| 4 | + | + | + | - | + | - | - | - | $Y_{\gamma 4}$ | $Y_{Up 4}$ |
| 5 | + | - | - | + | + | - | - | + | $Y_{\gamma 5}$ | $Y_{Up 5}$ |
| 6 | + | + | - | + | - | + | - | - | $Y_{\gamma 6}$ | $Y_{Up 6}$ |
| 7 | + | - | + | + | - | - | + | - | $Y_{\gamma 7}$ | $Y_{Up 7}$ |
| 8 | + | + | + | + | + | + | + | + | $Y_{\gamma 8}$ | $Y_{Up 8}$ |

В качестве критерием оптимизации приняты

Y_γ – сохранение курсовой устойчивости

$Y_{\text{ур}}$ – равномерность глубины хода сферических дисков

Полевой эксперимент проводился с соблюдением общепринятых и частных методик при доверительной вероятности $\alpha = 95$.

Обработка результатов эксперимента осуществляли по следующей методике.

Коэффициенты уравнения регрессии b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} рассчитываются:

$$b_i = \frac{\sum_{j=1}^N x_{ij} \cdot y_j}{\sum_{j=1}^N x_{ij}^2}, \quad (3.13)$$

где N – количество опытов;

j – номер строки матрицы;

y_j – значение отклика по j -той строке матрицы.

Коэффициент b_0 определяется:

$$b_0 = b'_0 - b_{11}\bar{x}_1^2 - \dots - b_{nn}\bar{x}_n^2, \quad (3.14)$$

где

$$x_1^2 = \frac{\sum_{j=1}^N x_{1j}^2}{N}, \dots, \quad x_n^2 = \frac{\sum_{j=1}^N x_{nj}^2}{N}. \quad (3.15)$$

Дисперсия для b_0 уравнения регрессии находится:

$$S^2\{b_0\} = S^2\{b'_0\} + (\bar{x}_1^2)^2 S^2\{b_{11}\} + \dots + (\bar{x}_n^2)^2 S^2\{b_{nn}\}. \quad (3.16)$$

Дисперсия коэффициентов b_i, b_{ij}, b_{ii} уравнения регрессии:

$$S^2(b_i) = \frac{S_y^2}{\sum_{j=1}^N x_{ij}^2}, \quad (3.17)$$

где S_y^2 – дисперсия воспроизводимости.

Значимость коэффициентов регрессии проверяли по t - критерию Стьюдента:

$$\frac{|b_i|}{\sqrt{S^2\{b_i\}}} > t, \quad (3.18)$$

где t – коэффициент Стьюдента, в нашем случае для 4-х степеней свободы и 95%-ном уровне доверительной вероятности $t = 2,77$.

Адекватность уравнений регрессии проверяют по критерию Фишера:

$$F_{\text{расч}} = S_{ad}^2 / S_y^2 < F, \quad (3.19)$$

где $F_{\text{расч}}$ – расчетное значение критерия Фишера;

Дисперсию адекватности определяли по формуле:

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{j=1}^N (y_j - \hat{y}_j)^2}{N - n - 1}, \quad (3.20)$$

где y_j – значение выходного параметра по результатам эксперимента;

\hat{y}_j – значение выходного параметра, вычисленное по уравнению регрессии.

Дисперсию воспроизводимости определяли по формуле:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2}{N - n - 1}. \quad (3.21)$$

Расчетное значение F-критерия находили как отношение дисперсии адекватности к дисперсии воспроизводимости: и табличное и F.

3.4.5 Методика определения тягового сопротивления модернизированного роторного плуга

При проведении эксперимента замеряли число оборотов ведущего и путеизмерительного колеса, тяговое сопротивление, время опыта при установившемся движении трактора на V ... VII передачах. Установочная глубина обработки почвы ротором составляла 0,15 м, глубина обработки почвы почвоуглубителями – 0; 0,2; 0,25 м в тяговом и тягово-приводном режимах. Частота вращения ВОМ – 540 об/мин. Перед началом испытаний трактор был прогрет до рабочей температуры. Измерения проводили при помощи тензометрической аппаратуры, смонтированной на тракторе. Измерение пройденного пути осуществляли с помощью путеизмерительного колеса, установленного по центру

следа колеса трактора. Для обеспечения точности измерений и постоянного контакта с почвой путеизмерительное колесо подпружинивалось (рисунок 3.16).

Для замера числа оборотов ведущего и путеизмерительного колес трактора на полуоси и ступице были смонтированы устройства, позволяющие за каждый оборот колес восемь раз периодически посылать импульсы на регистрирующую аппаратуру.

Регистрация осуществлялась электромагнитным счетчиком импульсов.



Рисунок 3.16 – Путеизмерительное колесо, установленное на трактор

Пройденный за опыт путь рассчитывается, м:

$$L = 2\pi r_k n, \quad (3.22)$$

где r_k – радиус путеизмерительного колеса, м;

n – число оборотов путеизмерительного колеса.

$$n = \frac{N_i}{8}, \quad (3.23)$$

где N_i – количество электромагнитным импульсов по счетчику.

Тарировка датчиков оборотов путеизмерительного колеса для определения радиуса качения проводилась по формуле:

$$R_k = \frac{S}{2\pi n_k}, \quad (3.24)$$

где S – замеренный путь, м

n_k - число оборотов путеизмерительного колеса.

Теоретическая скорость движения трактора, м/с:

$$v_T = \frac{2\pi n_k R_k}{t}, \quad (3.25)$$

где R_k – радиус качения ведущего колеса, м;

t – время опыта, с;

n_k – число оборотов ведущего колеса трактора.

Рабочая скорость м/с:

$$v_p = \frac{L}{t} = \frac{2\pi r_k n}{t}. \quad (3.26)$$

Соответственно, буксование ведущих колес трактора:

$$\delta = \frac{v_T - v_p}{v_T}. \quad (3.27)$$

Для определения тягового сопротивления использовалось два трактора [37, 38]. Первый трактор использовался в качестве тягового энергосредства, второй - в качестве средства для навешивания и обеспечения работы почвообрабатывающего агрегата (рисунок 3.17).

1. Для определения усилия на перекачивание к «ведущему» трактору через тензозвено буксировочным тросом прицепляли трактор с навешенным роторным плугом в транспортном положении. При буксировании трактором усилие на перекачивание МТА фиксировалось регистрирующей аппаратурой

Сопротивление перекачиванию определяли по формуле:

$$P_{кр} = P_f, \quad (3.28)$$

где P_f – усилие на перекачивание трактора, Н.

2. Определение тягового сопротивления роторного плуга с отключенным приводом ВОМ.

При проведении этапа исследований роторный плуг имитирует работу дисковой борона. Для повышения точности измерений ротор плуга отсоединяли от бортового редуктора. Таким образом, на показания тензометрического оборудования не влияли усилия, необходимые для привода узлов трансмиссии ротора. К «ведущему» трактору через тензозвено буксировочным тросом

прицепляли трактор, агрегатированный роторным плугом в рабочем положении в режиме дисковой борона, тягового сопротивления $P_{кр}$, Н, определяли по формуле:

$$P_{кр} = P_{изм(д.б.)} - P_f, \quad (3.29)$$

где $P_{изм(д.б.)}$ – значение тягового усилия роторного плуга, работающего в режиме дисковой борона, Н.

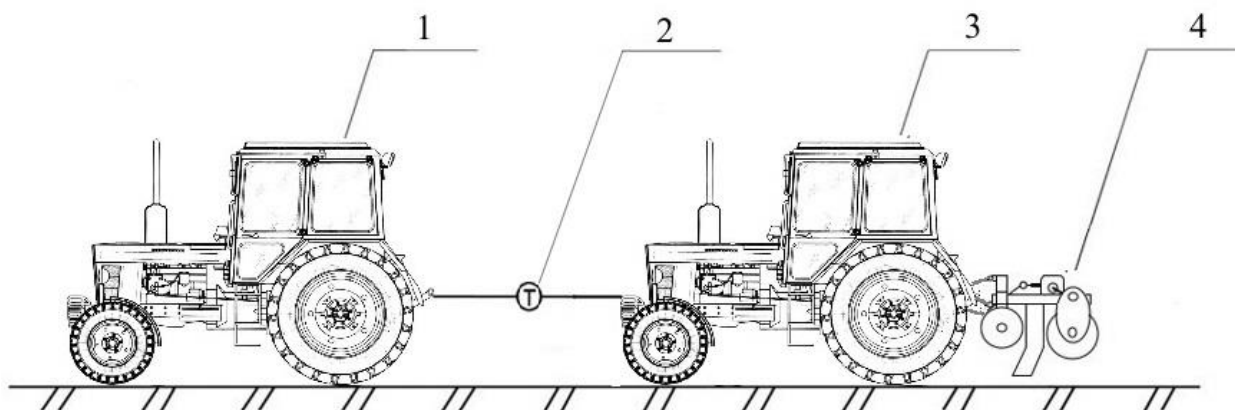


Рисунок 3.17 – Схема проведения эксперимента:

1 – «ведущий» трактор, используемый в качестве тягового энергосредства; 2 – тензозвено; 3 – трактор, используемый в качестве средства для навешивания почвообрабатывающей машины; 4 – почвообрабатывающая машина

3. Определение тягового сопротивления роторного плуга с приводом ротора от ВОМ трактора.

При проведении этапа исследований почвообрабатывающий агрегат работает в режиме роторного плуга. Исследования проводили при заглубленном в рабочее положение роторе и включенном ВОМ трактора ($n = 540$ об/мин), тягового сопротивления определяли по формуле:

$$P_{кр} = P_{изм(р.п.)} - P_f, \quad (3.30)$$

где $P_{изм(р.п.)}$ – значение тягового сопротивления почвообрабатывающего агрегата работающего в режиме роторного плуга, Н:

4. Определение тягового сопротивления роторного плуга, работающего в комбинированном режиме (с приводом ротора от ВОМ трактора и установленными по колее трактора почвоуглубителями).

Исследования проводили при заглубленном в рабочее положение роторе,

включенном ВОМ трактора (540 об/мин) и установленных на глубину 0,2 м и 0,25 м почвоуглубителях, тяговое сопротивление определяли по формуле:

$$P_{кр} = P_{изм(p.n.)} + P_{п.у.} - P_f \quad (3.31)$$

где $P_{п.у.}$ – значение тягового сопротивления, создаваемого заглубленными почвоуглубителями, Н.

После разгона и выхода агрегата на рабочий режим, по команде сигнальщика оператором включались тензометрическая и другая регистрирующая аппаратура. По окончании опыта оператор регистрировал показания приборов в журнале.

Для замера тягового сопротивления применялось кольцевое тяговое динамометрическое звено (рисунок 3.18).

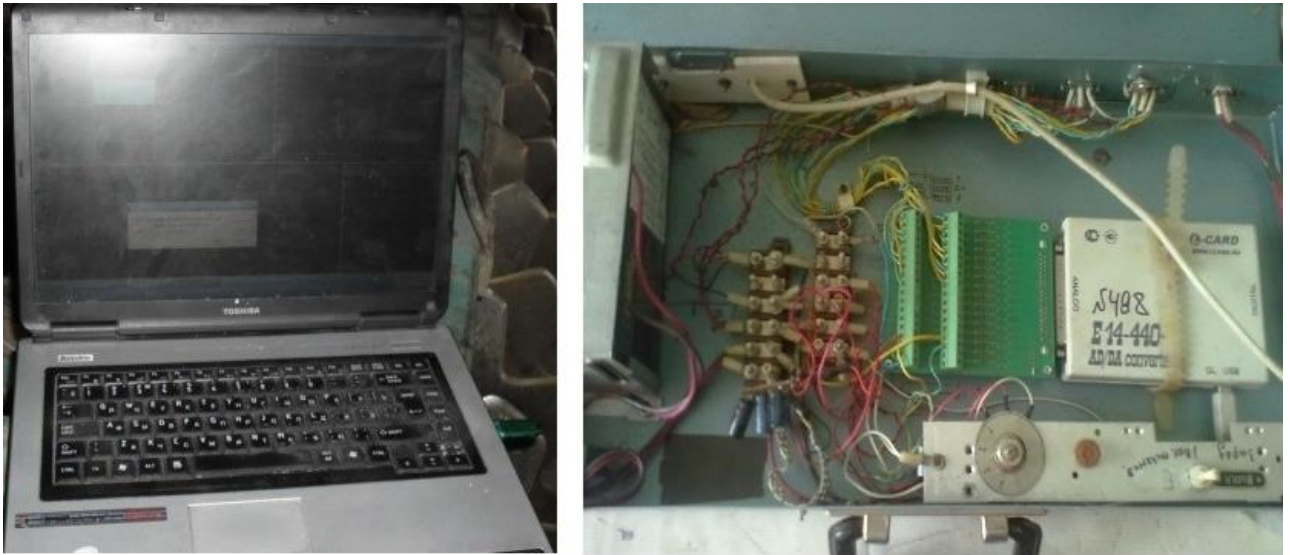


Рисунок 3.18 – Кольцевое тяговое звено конструкции НАТИ на 5ТС

В кольцевом тяговом звене четыре тензорезистора наклеены на внутренней поверхности стального кольца и включены в четыре плеча измерительного моста. Два тензорезистора размещены в зоне сжатия и два – в зоне растяжения. При приложении к тензозвену нагрузки тензорезисторы деформируются и реагируют на усилие, вызывающее деформацию, изменением сопротивления, соответствующего пропускаемому через датчики току.

Изменение напряжения в измерительной диагонали через коммутационный блок регистрировали бортовым измерительным комплексом БИК-М одновременно с показаниями электромеханических бесконтактных датчиков ведущего и

путеизмерительного колеса и обрабатывали программой АСTest-Pro, установленной в ноутбук измерительного комплекса (рисунок 3.19).



а)

б)

Рисунок 3.19 – Бортовой измерительный комплекс БИК-М:

а) регистрирующий блок; б) коммутационный блок

Во время опытов запись сигнала по всем каналам писалась непрерывно (рисунок 3.20). Преобразование сигнала в действительные величины осуществляется программным комплексом путем умножения, усредненного за время опыта значения сигнала на градуировочный коэффициент:

$$P_{ar} = k_{grad} U_{cp}, \quad (3.32)$$

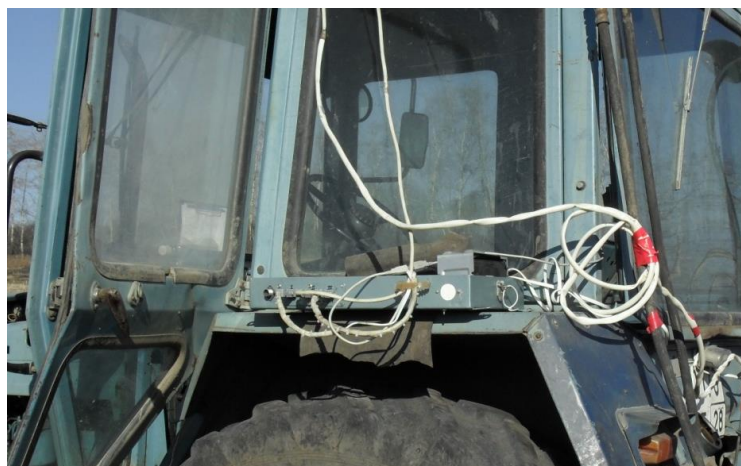


Рисунок 3.20 – Коммутационный блок бортового измерительного комплекса БИК-М

где P_{ar} – среднее значение параметра за опыт;

k_{grad} – градуировочный коэффициент;

U_{cp} – усредненное значение сигнала за опыт.

Тарировку тензозвена проводили перед началом и по окончании полевого эксперимента образцовым динамометром ДОСМ-3-3 (рисунок 3.21).



Рисунок 3.21 – Тарировка тензозвена на стенде

Для тарировки использовали встроенную конфигурацию бортового измерительного комплекса. Для определения градуировочного коэффициента тензозвено и образцовый динамометр включали в одну силовую цепь с выводом сигнала на коммутационный блок бортового измерительного комплекса. Нагружение и разгрузку тензозвена проводили в трехкратной прямой и обратной повторности, по результатам регистрируемых сигналов бортовой измерительный комплекс выводил на экран график нагрузки. Для обеспечения необходимой точности поверки масштабный (градуировочный) коэффициент определялся по формуле:

$$\mu_{zp} = \frac{\Delta P_i}{h_i}, \quad (3.33)$$

где ΔP_i – значения нагрузок при тарировке, кН;

h_i – соответствующее среднее значение ординаты на экране, мм.

Для устранения возможной ошибки от явления упругого гистерезиса при нагрузке и разгрузке тензозвена среднее значение ординаты вычислялось по формуле:

$$h_i = \frac{h_i^H + h_i^P}{2}, \quad (3.34)$$

где h_i^H - значение ординаты при нагрузке тензозвена, кН;

h_i^P - соответствующее значение ординаты при разгрузке тензозвена, кН.

3.5 Математическая обработка экспериментальных данных

В основу обработки экспериментальных входят элементы статистики, базирующейся на основные положения теории вероятностей [50, 91 и др.]. При этом статистические совокупности варьируемых параметров характеризуются следующими показателями: среднеарифметическим значением \bar{X} ; среднеквадратическим отклонением σ ; коэффициентом вариации V ; абсолютной ошибкой средней арифметической $S\bar{x}$; показателем точности опыта $S\bar{x}$, %.

Количество измерений N , обеспечивающих достоверность получения нормального закона распределения случайных величин, определяется исходя из заданной точности, принятой вероятности полученного результата и изменчивости изучаемого признака:

$$N = \frac{t^2 V^2}{S_{\bar{x}}}, \quad (3.35)$$

где t – коэффициент, зависящий от доверительной вероятности, обычно принимаемой 0,80; 0,90; 0,95. Тогда при этих доверительных вероятностях принимают $t_{0,80}=0,842$; $t_{0,90}=1,282$; $t_{0,95}=1,645$.

Количество опытов обеспечивающих достоверность результата обычно принимается при коэффициенте вариации V не более 0,4 (40%) и $S\bar{x}$ не более 0,05 (5%) [91].

При обработке опытных данных качества обработки почвы, курсовой устойчивости трактора и других качественных показателей работы экспериментального образца роторного плуга определяются следующие величины.

Среднеарифметическое значение измеряемой величины в серии измерений:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (3.36)$$

где x_i – результаты i – того измерения (в опытах)

n - количество опытов

Среднеквадратическое отклонение, оценивает погрешность среднеарифметического значения признака

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.37)$$

Коэффициент вариации, характеризующий изменчивость величины:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (3.38)$$

В процессе обработки экспериментальных данных необходимо учитывать ошибку средней арифметической:

$$S\bar{x} = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3.39)$$

и относительную ошибку выборочной средней которая считается показателем точности опыта:

$$S\bar{x}\% = \frac{S\bar{x}}{\bar{x}} 100\% \quad (3.40)$$

Если значение относительной ошибки выборочной средней $S\bar{x}\%$ превышает 5% результаты опытов считаются не достоверными.

Проверка на исключение резко выделяющихся наблюдений:

$$t_{расч} = \frac{(x_i^* - \bar{x})}{\bar{S}_x} \leq t_{табл}, \quad (3.41)$$

где $t_{расч}$ и $t_{табл}$ – расчётное и табличное значения коэффициента Стьюдента;

x_i^* ; \bar{x} – резко выделяющееся и среднее значение параметра в выборке;

\bar{S}_x – среднеквадратичная погрешность в выборке.

$$\bar{S}_x = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (3.42)$$

Абсолютная погрешность результатов измерений определяется доверительным интервалом

$$\Delta x = t_{табл} \cdot \bar{S}_x. \quad (3.43)$$

Разработанная программа и методика экспериментальных исследований, применяемые приборы и оборудование, порядок лабораторно-полевых исследований и математической обработки полученных экспериментальных данных позволяют подтвердить достоверность аналитических расчетов, а производственная проверка эффективности применения модернизированного роторного плуга в агрегате с трактором класса 1,4 в технологии биологизированного земледелия в условиях Амурской области.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты экспериментальных исследований по определению угла атаки ротора

В целях определения совместного воздействия разных факторов на равномерность глубины обработки почвообрабатывающим ротором и устойчивое прямолинейное движение МТА и был проведен трехфакторный эксперимент.

За параметры оптимизации были приняты Y_γ – курсовая устойчивость агрегата и Y_{Up} – равномерность глубины хода роторного плуга, обеспечивающая качественную заделку органической массы, находящейся на поверхности поля. Результаты эксперимента изложены в матрице (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Результаты полного факторного эксперимента 2^3

| № опыта | Факторы и числовые характеристики | | | | | | Значения отклика | |
|---------|-----------------------------------|------|----------------------|------|---------------------|------|------------------|----------|
| | Угол атаки, α | | Глубина обработки, h | | Рабочая скорость, v | | Y_γ | Y_{Up} |
| | x_1 | град | x_2 | м | x_3 | м/с | град | % |
| 1 | - | 18 | - | 0,05 | - | 1,38 | 20 | 54 |
| 2 | + | 30 | - | 0,05 | - | 1,38 | 22 | 84 |
| 3 | - | 18 | + | 0,15 | - | 1,38 | 26 | 26 |
| 4 | + | 30 | + | 0,15 | - | 1,38 | 27 | 51 |
| 5 | - | 18 | - | 0,05 | + | 2,50 | 42 | 64 |
| 6 | + | 30 | - | 0,05 | + | 2,50 | 48 | 73 |
| 7 | - | 18 | + | 0,15 | + | 2,50 | 46 | 21 |
| 8 | + | 30 | + | 0,15 | + | 2,50 | 48 | 29 |

Используя данные таблицы провели обработку данных и составили статистические модели (уравнения регрессии).

В кодированном виде:

$$Y_\gamma = 34,90 + 11,13 x_1 + 1,90 x_2 + 1,90 x_3; \quad (4.1)$$

$$Y_{Up} = 50,30 + 9,01 x_1 - 18,50 x_2 - 4,75 x_1 x_3. \quad (4.2)$$

В натуральном виде:

$$\gamma = -18,23 + 1,85\alpha + 0,37h + 0,69v; \quad (4.3)$$

$$U_p = -14,27 + 4,23\alpha - 3,70h + 9,36v - 0,39\alpha v. \quad (4.4)$$

Гипотезу о значимости коэффициентов уравнений регрессии проверили, используя критерий Стьюдента. Проверку адекватности уравнений регрессии осуществляли по критерию Фишера.

Уравнения сечений поверхности отклика получили, используя имеющиеся регрессионные модели.

По величине курсового угла, γ (кодированный вид):

$$Y_\gamma = 37,80 + 6,75x_3 \quad (\text{при ограничении } x_1);$$

$$Y_\gamma = 37,80 + 15,5x_1 + 6,75x_3 + 2,50x_1x_3 \quad (\text{при ограничении } x_2);$$

$$Y_\gamma = 37,80 + 15,50x_1 \quad (\text{при ограничении } x_3).$$

По величине курсового угла, γ (натуральный вид):

$$\gamma = 26,30 + 0,40h + 0,69v \quad (\text{при ограничении } \alpha = 24^\circ);$$

$$\gamma = -14,50 + 1,85\alpha + 0,69v \quad (\text{при ограничении } h = 0,1 \text{ м});$$

$$\gamma = -13,40 + 1,85\alpha + 0,40h \quad (\text{при ограничении } v = 1,94 \text{ м/с}).$$

По равномерности глубины обработки, U_p (кодированный вид):

$$Y_{U_p} = 50,25 - 18,50x_2 \quad (\text{при ограничении } x_1);$$

$$Y_{U_p} = 50,25 + 9,05x_1 - 4,77x_1x_3 \quad (\text{при ограничении } x_2);$$

$$Y_{U_p} = 50,25 + 9,05x_1 - 18,50x_2 \quad (\text{при ограничении } x_3).$$

По равномерности глубины обработки, U_p (натуральный вид):

$$U_p = 87,25 - 3,70h \quad (\text{при ограничении } \alpha = 24^\circ);$$

$$U_p = -51,27 + 4,27\alpha + 9,36v - 0,39\alpha v \quad (\text{при ограничении } h = 0,1 \text{ м});$$

$$U_p = 51,27 + 1,50\alpha - 3,70h \quad (\text{при ограничении } v = 1,94 \text{ м/с}).$$

Для расчетов и построения поверхностей отклика (рисунки 4.1 – 4.6) использовалась программа к ПК «SigmaPlotv.11.0». Анализ поверхностей отклика и уравнений регрессии по результатам эксперимента позволяет сделать ряд выводов.

Во всех полевых экспериментах наблюдается отклонение МТА от прямолинейного движения при работе ротора без почвоуглубителей. В принятых диапазонах изменения угла атаки и рабочей скорости МТА от 1,38 до 2,50 м/с угол курсовой устойчивости меняется от 20 до 48 градусов. При уменьшении угла атаки

курсовая устойчивость улучшается (угол курсовой устойчивости уменьшается), но растения подрезаются не полностью.

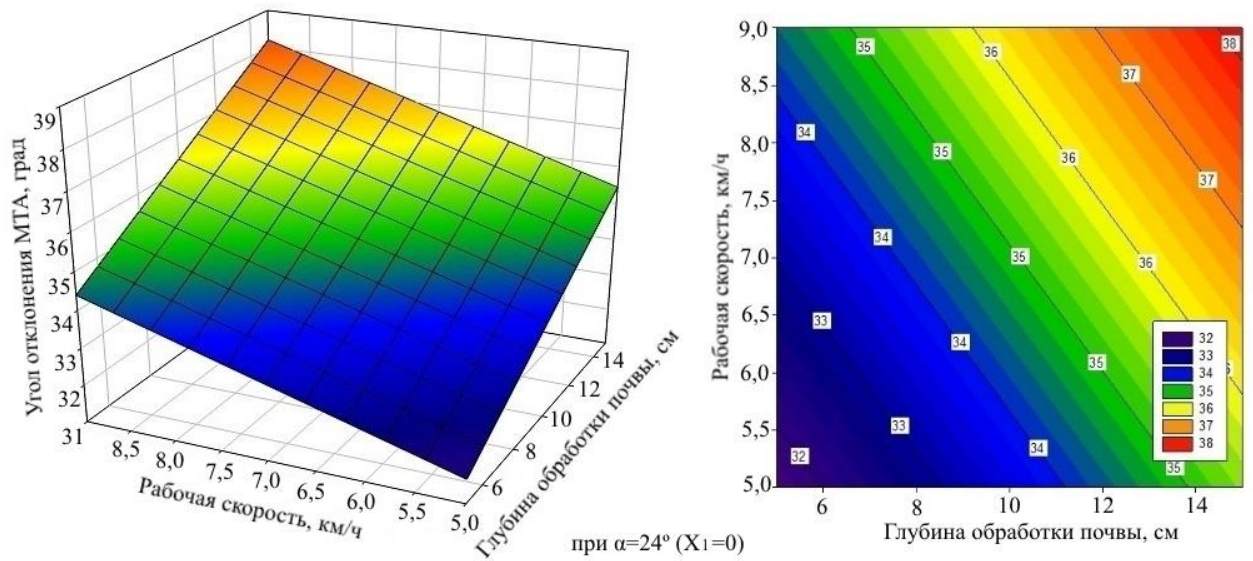


Рисунок 4.1 – Поверхности отклика и сечение изменения курсовой устойчивости при угле установки ротора 24°

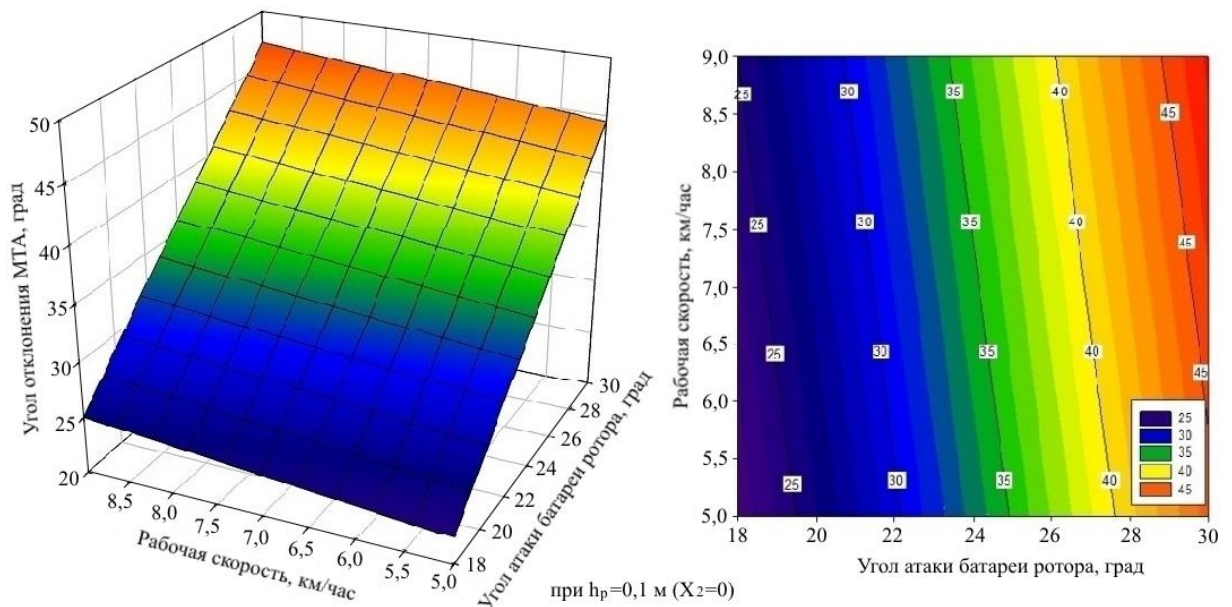


Рисунок 4.2 – Поверхность отклика и сечение изменения курсовой устойчивости при глубине обработки почвы 10 см

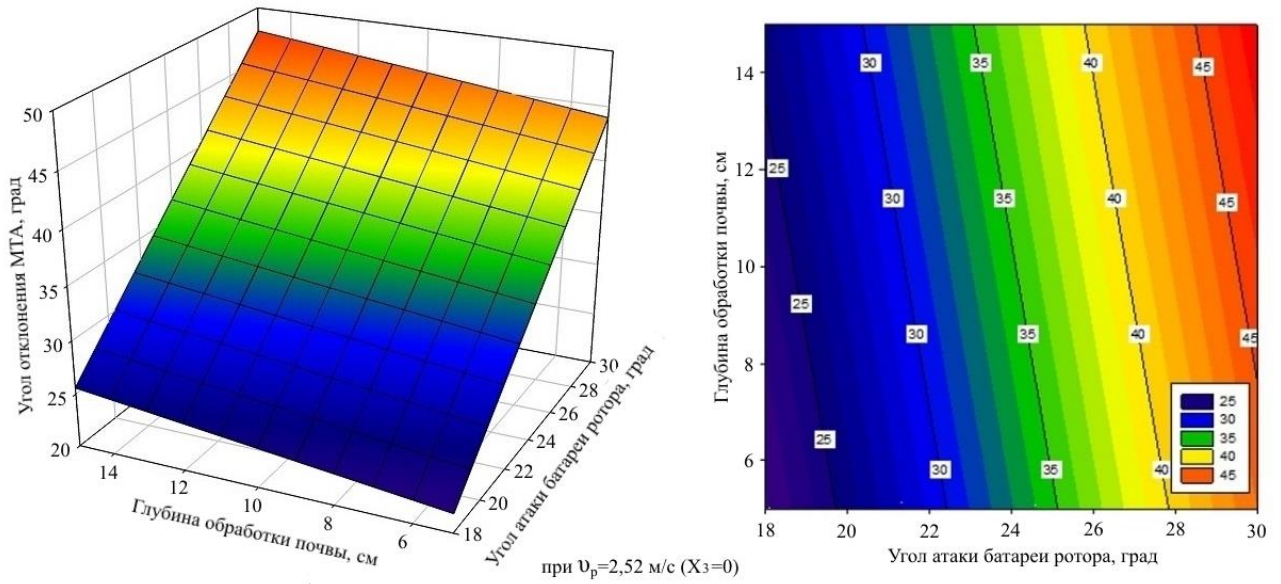


Рисунок 4.3 – Поверхность отклика и сечение изменения курсовой устойчивости при рабочей скорости 1,94 м/с

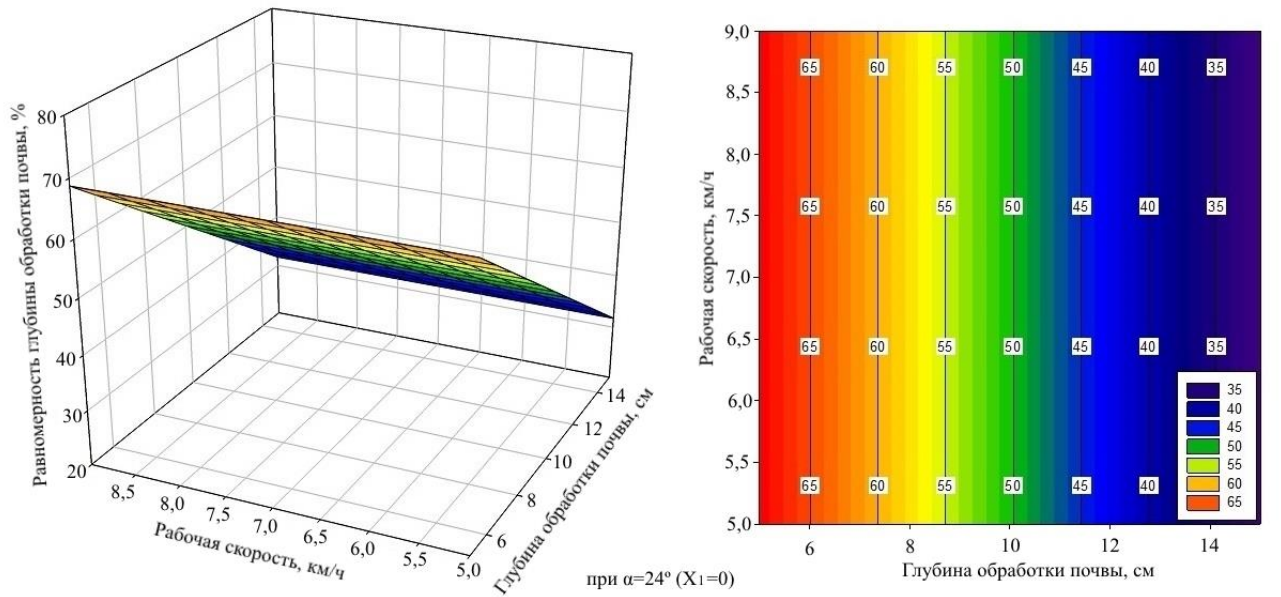


Рисунок 4.4 – Поверхность отклика и сечение изменения равномерности глубины обработки при угле установки ротора 24°

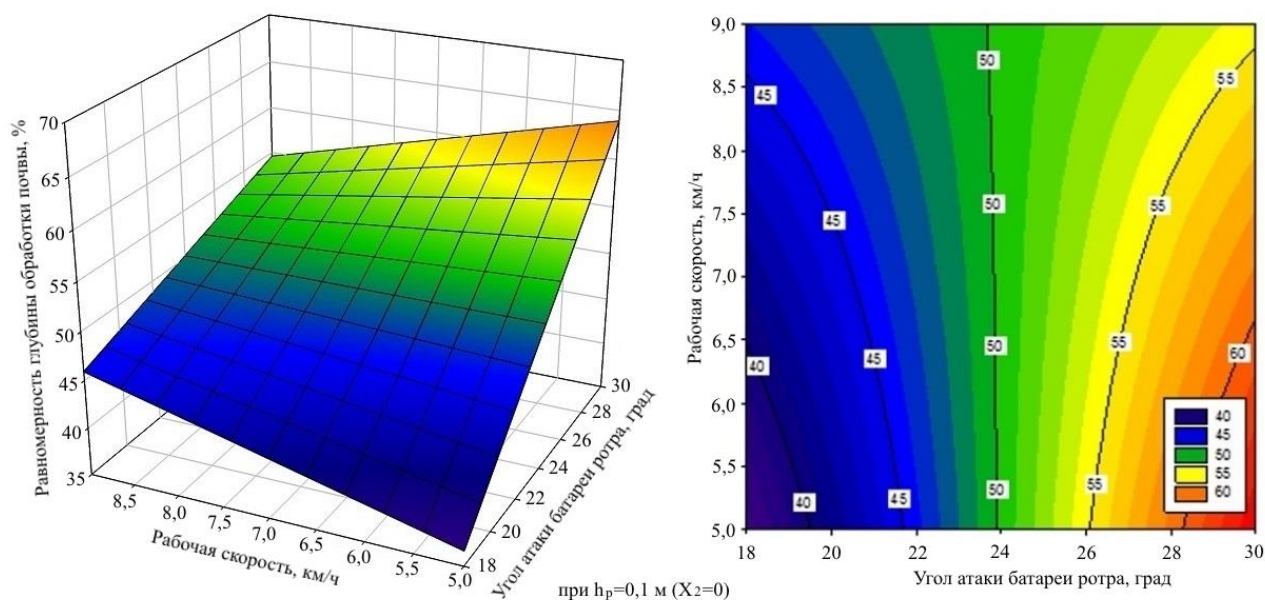


Рисунок 4.5 – Поверхность отклика и сечение изменения равномерности глубины обработки при глубине обработки почвы 10 см

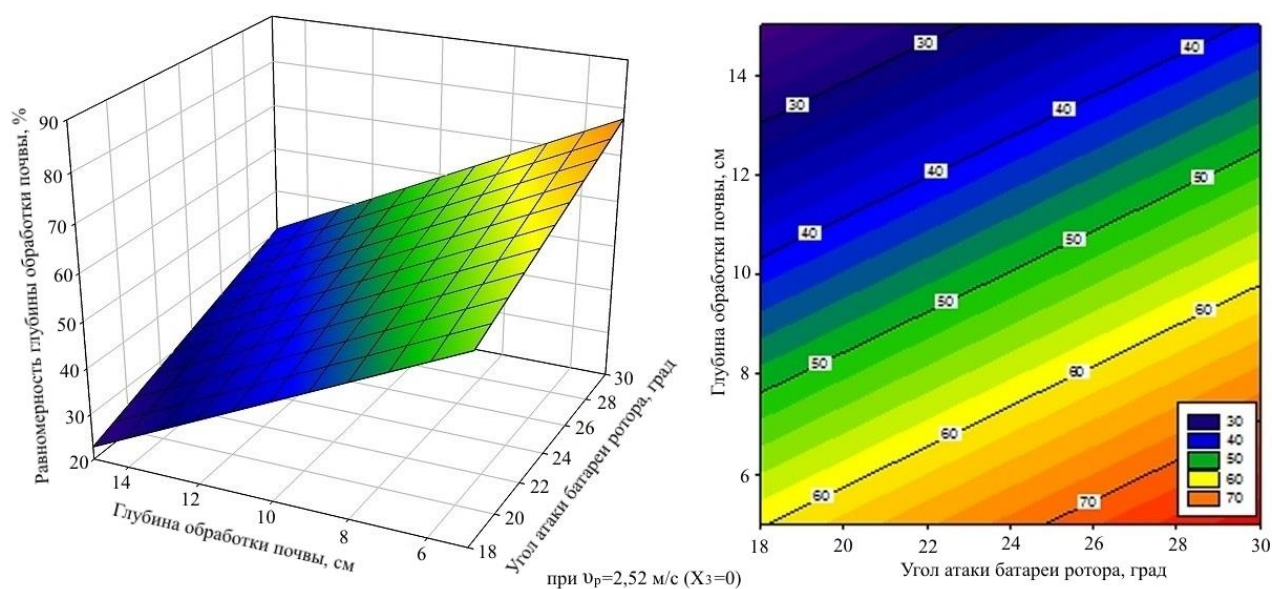


Рисунок 4.6 – Поверхность отклика и сечение изменения равномерности глубины обработки при рабочей скорости 1,94 м/с

Равномерность глубины хода дисковых рабочих органов в большей степени зависит от глубины обработки ротором и угла атаки рабочей машины. При глубине

обработки $h=0,15$ м с углом атаки ротора $\alpha=24^\circ$ агрегат обеспечивает полное подрезание корневой системы растений, но с низкими показателями равномерности хода рабочих органов (угол курсовой устойчивости в пределах 35 градусов).

При работе агрегата с установленными на роторный плуг почвоуглубителями полевыми экспериментами (рисунок 4.7.) выявлена зависимость угла отклонения МТА от величины заглубления почвоуглубителей [36, 41]. Глубина обработки почвы ротором ($h=0,15$ м) и угол атаки ротора ($\alpha=24^\circ$) выбраны из условия агротехнических требований на основную обработку почвы и подрезание растений по результатам многофакторного эксперимента.

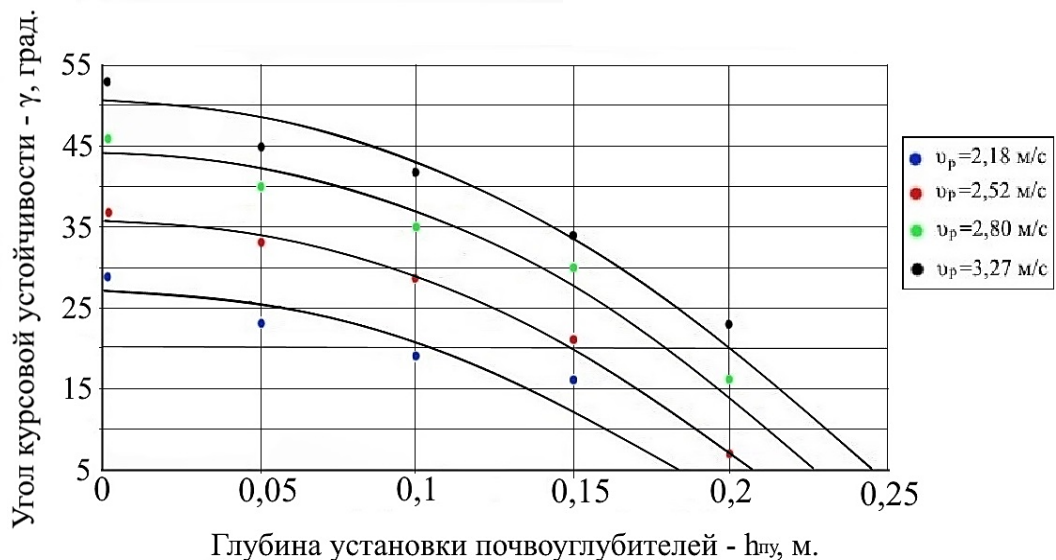


Рисунок 4.7 – Зависимости угла курсовой устойчивости МТА от величины заглубления почвоуглубителей (глубина обработки ротором - 0,15 м, угол атаки ротора $\alpha=24^\circ$)

Эксперимент по определению влияния глубины установки почвоуглубителей на курсовую устойчивость МТА проводили на роторном плуге, оборудованном почвоуглубителями со стойкой шириной 0,16 м. Анализ полученных зависимостей показывает, что установка на роторный плуг почвоуглубителей с шириной стойки – 0,16 м на глубину – 0,25 м обеспечивает заданное направление движения МТА на

лугово-черноземовидных почвах. Отклонение агрегата (угол курсовой устойчивости) не превышает 5 градусов в диапазоне принятых по агротехническим требованиям рабочих скоростей от 2,4 до 3,3 м/с.

4.2 Результаты экспериментальных исследований тягового сопротивления роторного плуга

Для проверки теоретических предпосылок моделирования поиска оптимальных решений в распределении мощностного баланса тягово-приводного агрегата проведены тяговые испытания трактора МТЗ-82 в агрегате с роторным плугом шириной захвата 2,4 метра на трех (V, VI, VII) передачах и в четырех режимах работы [42, 43]:

- для режима обработки почвы ротором на 0,15 м с включенным ВОМ:
- для режима обработки почвы ротором на 0,15 м с включенным ВОМ и установкой почвоуглубителей на 0,2 м:
- для режима обработки почвы ротором на 0,15 м с включенным ВОМ и установкой почвоуглубителей на 0,25 м:
- для режима обработки почвы ротором на 0,15 м с отключенным ВОМ:

По результатам тяговых испытаний определено буксование трактора, построена зависимость $\delta = f(P_{кр})$ (рисунок 4.8).

Установлено, что расчетным значениям рабочей скорости 2,4 – 3,6 м/с соответствует режим P_3 с ограничением рабочей скорости агрегата по агротехническим требованиям на качество обработки почвы и заделку органической массы и по максимальной курсовой устойчивости.

Изменение рабочей скорости от сопротивления рабочей машины по передачам представлено на рисунке 4.9.

Используя данные рисунков 4.8 и 4.9, проверена адекватность предложенной модели поиска оптимальных значений тягового диапазона и рабочей скорости агрегата по уравнению мощностного баланса (рисунок 4.10).

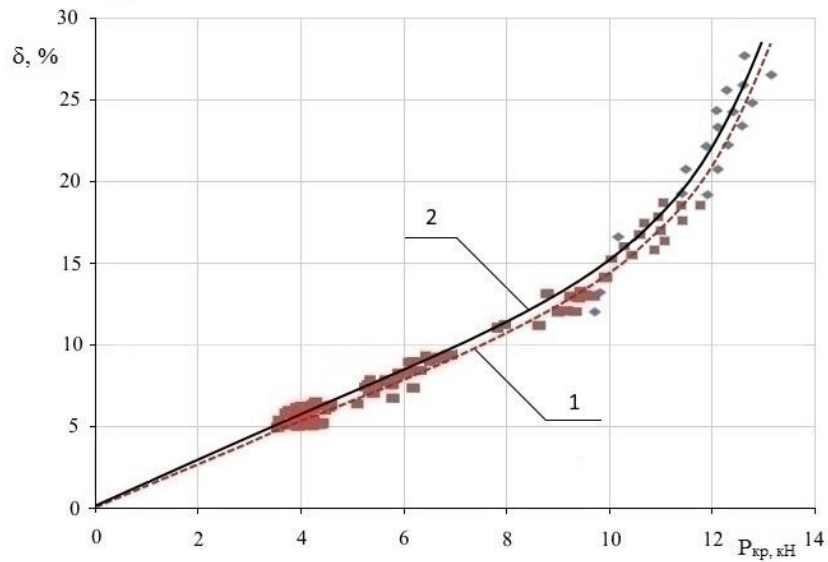


Рисунок 4.8 – Изменение буксования от тягового сопротивления, где 1 – экспериментальная кривая изменения буксования, 2 – расчетная кривая изменения буксования (формула 2.35)

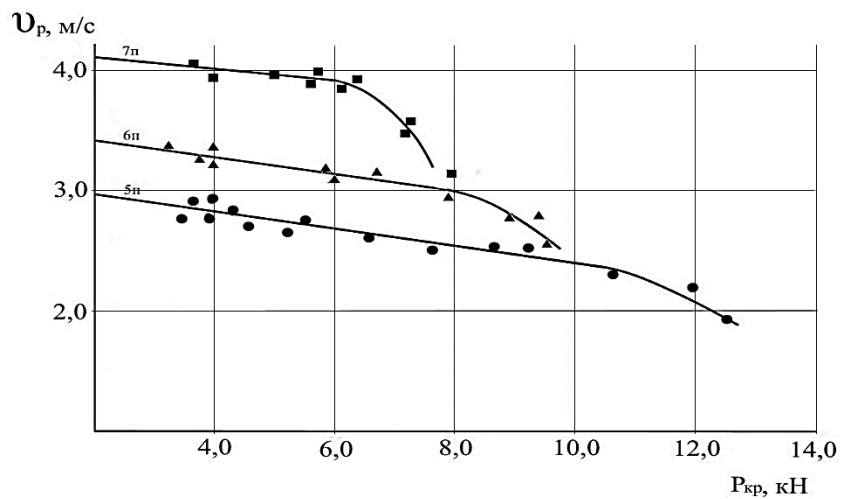


Рисунок 4.9 – Экспериментальные кривые изменения рабочей скорости от сопротивления рабочей машины

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 ($v = 1,0...1,5$) достоверны и могут использоваться для определения конструктивно-режимных параметров тягово-приводного агрегата.

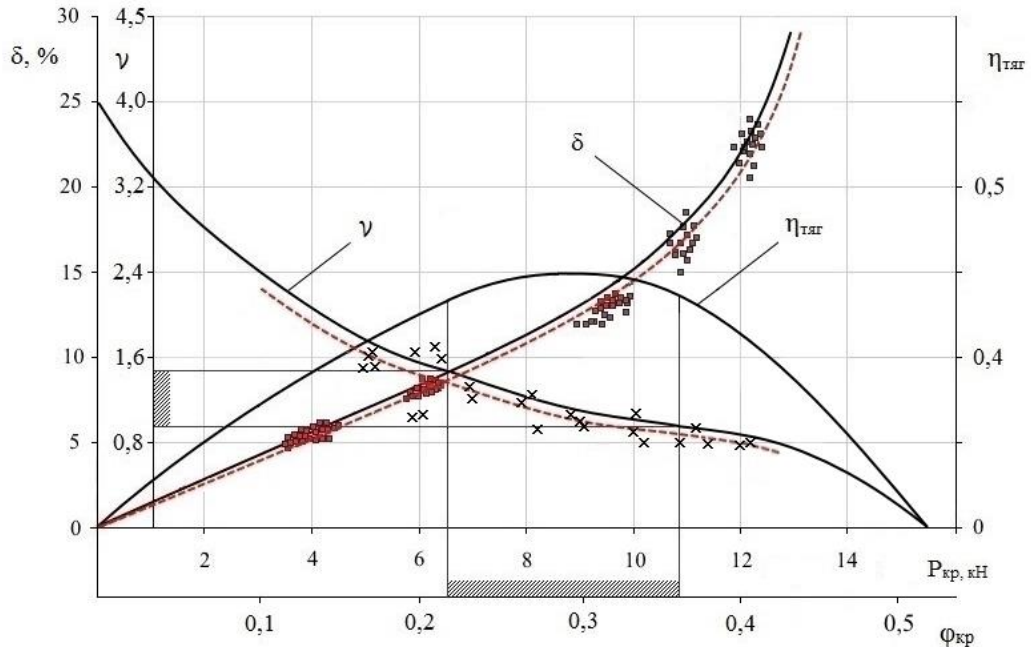


Рисунок 4.10 – Теоретические и экспериментальные кривые изменения буксования, относительной рабочей скорости и тягового КПД агрегата

По результатам исследований построена тяговая характеристика трактора в агрегате с роторным плугом с установкой почвоуглубителей на 0,25 м на трех основных передачах (рисунок 4.11). Исходные данные для построения тяговой характеристики трактора в агрегате с роторным плугом представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Исходные данные для построения тяговой характеристики трактора в агрегате с роторным плугом

| Передача | $v_T, \text{м/с.}$ | $P_{кр}^H, \text{кН}$ | δ | $v_p, \text{м/с.}$ | $N_{кр}$ | Тягов.КПД |
|----------|--------------------|-----------------------|----------|--------------------|----------|-----------|
| 5 | 2,93 | 10,50 | 16,5 | 2,44 | 25,69 | 0,437 |
| 6 | 3,43 | 8,75 | 11,0 | 3,02 | 26,42 | 0,449 |
| 7 | 4,20 | 6,50 | 8,0 | 3,86 | 25,09 | 0,426 |

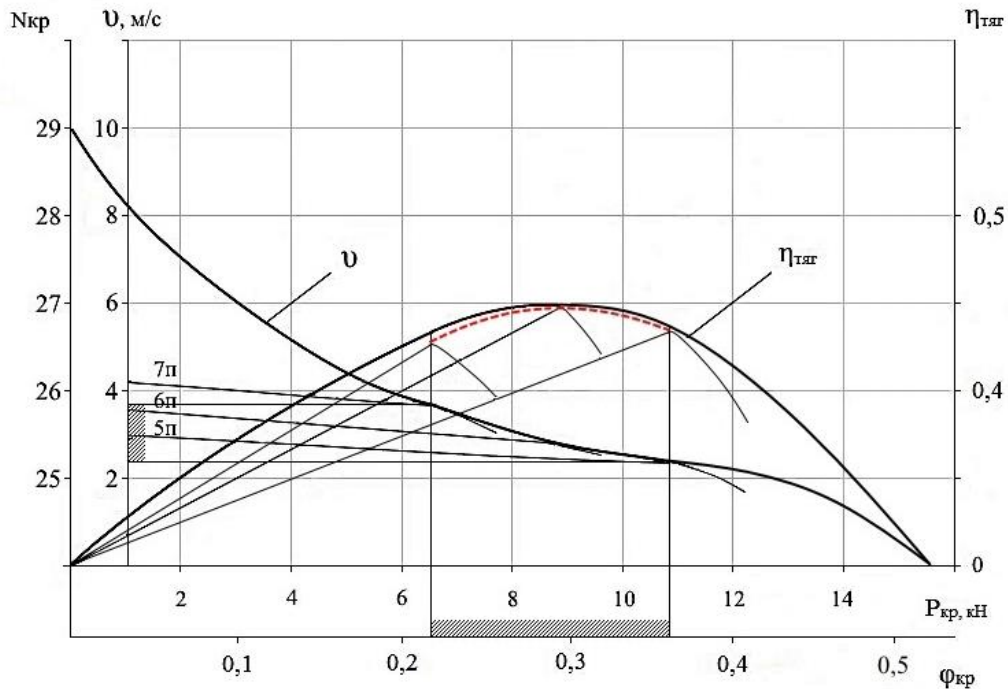


Рисунок 4.11 – Расчетная потенциальная и экспериментальная тяговые характеристики трактора в агрегате с роторным плугом и почвоуглубителями при $h_n=0,25$ м.

Максимальные значения тягового КПД в тяговом диапазоне $\phi_{кр}$ от 0,22 до 0,36 трактор развивает на VI передаче в с рабочей скоростью 3,02 м/с при буксовании движателя 16,5%, что соответствует агротехническим требованиям к обработке почвы ротационными рабочими органами и допустимому буксованию колесного трактора. На VII передаче трактор в расчетном тяговом диапазоне $\phi_{кр}$ работает на корректорном участке скоростной характеристики дизеля. 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).

4.3 Результаты полевых испытаний агрегата с роторным плугом для технологии биологизированного земледелия

Агротехническую, эксплуатационно-технологическую и производственную проверку модернизированного роторного плуга проводили при проведении

основной обработки почвы по стерне зерновых культур с одновременной заделкой в верхние слои почвы растительных остатков и полосным почвоуглублением на опытном поле ФГБНУ ДальНИИМЭСХ, с. Садовое Тамбовского района.

Лабораторно-полевые испытания проводили согласно ГОСТ 20915-2011. Условия проведения производственной проверки типичны для Дальневосточного региона. Для сравнения приняты результаты последних испытаний роторного плуга ОВП-2,4 разработанного ФГБНУ ДальНИИМЭСХ [104]. Условия проведения испытаний приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Условия проведения полевых испытаний

| Показатель | Значение показателя | |
|---|--|--|
| Место проведения испытаний | Амурская МИС, с. Зеленый бор, Михайловский район Амурская область | опытное поле ФГБНУ ДальНИИМЭСХ, с. Садовое, Тамбовский район Амурская область |
| Вид работы | Обработка почвы | |
| Объем работ, га | 22 | 35 |
| Энергосредство | МТЗ-82 | МТЗ-82 |
| Тип почвы и название по механическому составу | лугово-черноземовидные, тяжелосуглинистые | |
| Рельеф | ровный | |
| Микрорельеф | волнистый | ровный |
| Влажность почвы, % в слое, см: | | |
| 0-5 | 21,81 | 25,5 |
| 5-10 | 21,75 | 25,3 |
| 10-15 | 22,34 | 23,1 |
| 15-20 | 22,9 | 22,9 |
| 20-25 | н/д | 22,3 |
| Твердость почвы, МПа в слое, см: | | |
| 0-5 | 0,34 | 0,37 |
| 10-20 | 1,03 | 1,28 |
| 20-30 | 1,34 | 1,59 |
| Предшествующая операция | дискование | уборка пшеницы |
| Высота стерни, см | 5,8 | 38,1 |
| Масса стерни, г/м ² | 128,4 | 300,7 |

На опытном поле ФГБНУ ДальНИИМЭСХ предварительно, на отведённом участке шириною 20 м и длиной – 200 м, была осуществлена настройка и регулировка агрегата, после чего приступили к проведению полевых испытаний.

Почвообрабатывающий агрегат состоял из трактора класса 1,4 с навесным

роторным плугом. Роторный плуг имел привод от ВОМ трактора. По следам ведущих колес, перед ротором, плуг был оборудован двумя почвоуглубителями с глубиной обработки 0,25 м. Ротор плуга установлен под углом атаки 24°. Глубина обработки ротором 0,15 м.

Оценку работы почвообрабатывающего агрегата проводили согласно СТО АИСТ 4.2-2010. Почвообрабатывающий агрегат работал на скоростях от 2,2 до 3,3 м/с. Показатели качества выполнения технологического процесса проверялись при частоте вращения вала отбора мощности 540 об/мин (рисунок 4.12).



Рисунок. 4.12 – Полевые испытания модернизированного роторного плуга

Проведенные испытания показали, что установленные на роторный плуг почвоуглубители способствуют стабилизации рабочего хода машинно-тракторного агрегата.

Проверка показала, что при скорости движения до 3,0 м/с почвообрабатывающий агрегат качественно выполнял технологический процесс обработки почвы. 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%.

Активные почвообрабатывающие диски роторного плуга обеспечивали 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 (таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Показатели эксплуатационно-технологической и агротехнической оценок

| Показатель оценки агрегата | Значение показателя | |
|---|------------------------|---------------------------------|
| | Амурская МИС, ОВПП-2,4 | модернизированный роторный плуг |
| Средняя эксплуатационная скорость на загоне м/с | 2,22 | 2,45 |
| Рабочая ширина захвата агрегата, м | 2,34 | 2,36 |
| Глубина обработки ротором, м | 0,143±0,035 | 0,149±0,010 |
| Глубина обработки почвоуглубителями, средняя, м | - | 0,24±0,026 |
| Крошение почвы, % размер фракций, мм: | | |
| менее 1,0 | 0 | 0 |
| 1-50 | 82,0 | 79,0 |
| 50-100 | 18,0 | 21,0 |
| свыше 100 | 0 | 0 |
| Гребнистость поверхности почвы, м | 0,047±0,025 | 0,042±0,015 |
| Подрезание стерни, % | 95 | 100 |
| Залипание сферических дисков и почвоуглубителей | не наблюдалось | |
| Расход топлива за основное время работы, кг/га | 7,2 | 7,5 |
| Производительность за час основного времени смены, га/ч | 1,85 | 1,99 |
| Эксплуатационная производительность, га/ч | 1,52 | 1,87 |

По результатам эксплуатационно-технологической оценки эксплуатационная производительность составила 1,87 га/ч при удельном расходе топлива 8,5 кг/га.

При увеличении скорости движения от 3,0 до 3,3 м/с качество выполнения технологического процесса ухудшилось: количество подрезанных растений снизилось до 92%. Таким образом, рабочую скорость почвообрабатывающего агрегата следует ограничить пределом в $3,0 \pm 0,2$ м/с.

Согласно Протоколу приемочных испытаний Амурской МИС [103] роторный плуг ОВП-2,4 не отвечал агротехническим требованиям, (буквально стр.13) - при увеличении скорости свыше 4,2 км/час происходит выглубление рабочих органов машины и неравномерность обработки по ширине захвата, если левая сторона машины обеспечивает рыхление почвы на 5 - 6 см, то правая оставляет необработанные участки. По мнению специалистов Амурской МИС машина требует существенной доработки.

С помощью поставленных в 2015 - 2017 годах полевых опытов исследовано влияние заделки сидератов (соево-овсяной смеси) роторным плугом на содержание питательных веществ в почве (таблица 4.5).

Анализ почвенных проб показал, что количество подвижного фосфора и калия в почве увеличилось на 12 и 18% соответственно, а нитрата азота – на 48%.

Таблица 4.5 – Изменение содержания питательных веществ в почве

| Питательные вещества | Традиционная технология | Технология биологизированного земледелия | Степень изменения |
|-------------------------|-------------------------|--|-------------------|
| Нитраты азота | 4,97 | 7,35 | 1,48 |
| Подвижный фосфор, мг/кг | 78,5 | 88,0 | 1,12 |
| Подвижный калий, мг/кг | 200,0 | 234,7 | 1,18 |

Таким образом, заделка сидератов в верхний слой почвы (от 0 до 15 см) в течение трех лет способствует повышению почвенного плодородия [156]. Агрохимический анализ почв проводился на базе испытательной лаборатории по агрохимическому обслуживанию сельскохозяйственного производства

Федерального государственного бюджетного учреждения «Станция агрохимической службы «Белогорская» (приложение Д).

4.4 Краткие выводы по проведенным экспериментальным исследованиям

1. Проведенные экспериментальные исследования наглядно показали комплексное влияние различных факторов на качество обработки почвы, курсовую устойчивость МТА при изменении угла атаки ротора с различной глубиной установки почвоуглубителей во всем диапазоне рабочих скоростей.

2. Основное влияние на равномерность глубины основной обработки почвы роторным плугом и на курсовую устойчивость агрегата оказывают угол атаки ротора, рабочая скорость движения и глубина установки почвоуглубителей.

3. Определены оптимальные конструктивные параметры агрегата, при которых обеспечивается качественное выполнение технологической операции основной обработки почвы с полным подрезанием сидеральных растений и стерни предшествующей культуры во всем диапазоне рабочих скоростей: глубина обработки почвы ротором – 0,15 м, угол атаки ротора – 24°, глубина установки почвоуглубителей – 0,25 м. Установка почвоуглубителей позволяет не только стабилизировать курсовую устойчивость МТА, но и переводит его в корректный тяговый режим, что увеличивает срок службы трансмиссии трактора и улучшает его управляемость.

4. Предлагаемая модернизация роторного плуга позволяет достигать максимального тягового КПД в диапазоне скоростей от 2,44 до 3,02 м/с и буксованием трактора от 11 % до 16,5%.

5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1 Расчет основных показателей экономической эффективности

Основным условием для сравнения было принято качество выполнения основной обработки применяемыми агрегатами. В методике расчета учитывали изменение количества операций по обработке почвы по принятым вариантам в сравнении с новым приемом и модернизированным роторным плугом. Расчет проведен согласно требованиям государственного стандарта [27], промежуточные результаты описаны диссертантом в сборниках научных трудов [40, 41].

Проведенные исследования послужили основой для комплексной экономической оценки, которая позволяет выявить преимущества от внедрения нового приема основной обработки почвы и модернизированного роторного плуга в технологии биологизированного земледелия.

Оптовая цена базовой машины, как и оптовые цены машин, необходимых для дальнейшего расчета экономической эффективности:

$$C_o = \frac{C_{б.м.}}{M_{б.м.}} M, \quad (5.1)$$

где $C_{б.м.}$ – оптовая цена базовой машины, руб.,

$M_{б.м.}$ – масса базовой машины, кг,

M – масса новой машины, кг.

Расчет проекта оптовой цены на роторный плуг проводится через оптовую цену аналога – борону дисковую тяжелую БДТ-3,0:

$$C_o = \frac{315000}{1750} 850 = 153000 \text{ руб.}$$

Ввиду сложности конструкции роторного плуга в связи с применением бортового редуктора к проектной оптовой цене роторного плуга необходимо прибавить оптовую цену редуктора 91650 руб. Для дальнейших расчетов принимаем оптовую цену роторного плуга в размере 244650 рублей.

Расчет проведен в сравнении с базовыми приемами обработки почвы до

соответствующего качества:

- измельчение сидерата с использованием КИР-1,5 и его последующая заделка при мелкой вспашке плугом ПЛН-3-35;

- укладка травостоя катком ЗКВГ-1,4, его измельчение и заделка в два следа, в верхний слой почвы с использованием дисковой бороны БДТ-3,0.

При расчете определяем для каждой технологической операции и агрегатов на базе трактора МТЗ-82, и машин КИР-1,5, ПЛН-3-35, ЗКВГ-1,4, БДТ-3,0, модернизированного роторного плуга, следующие показатели:

- балансовая цена – Б, руб:

$$B = C_0 \cdot n, \quad (5.2)$$

где n – коэффициент, учитывающий затраты на поставку, сборку и регулировку машины.

- амортизационные отчисления на реновацию – А, руб/га:

$$A = \frac{B \cdot a}{W_{\text{ЭК}} \cdot T_{\text{НМ}} \cdot 100}, \quad (5.3)$$

где a – норма амортизационных отчислений на реновацию, %;

$W_{\text{ЭК}}$ – производительность за час эксплуатационного времени;

$T_{\text{НМ}}$ – годовая норма загрузки, ч.

- заработная плата – ЗП, руб/га:

$$\text{ЗП} = \frac{Ч}{W_{\text{ЭК}}}, \quad (5.4)$$

где $Ч$ – часовая тарифная ставка, руб.

- удельные затраты на ТО и ТР – Р, руб/га:

$$P = \frac{B \cdot R_p}{W_{\text{ЭК}} \cdot T_{\text{НМ}} \cdot 100}, \quad (5.5)$$

где R_p – норма отчислений на текущий ремонт и техническое обслуживание, %.

- удельные затраты на нефтепродукты – Г, руб/га:

$$\Gamma = q \cdot C_{\Gamma}, \quad (5.6)$$

где q – удельный расход нефтепродуктов, кг/га;

C_{Γ} – стоимость одного килограмма топлива, руб.

- удельные эксплуатационные затраты – И, руб/га:

$$И = А + 3П + Р + Г . \quad (5.7)$$

- удельные капитальные вложения – К, руб/га:

$$К = \frac{Б}{W_{ЭК} \cdot T_{НМ}} . \quad (5.8)$$

- удельные приведенные затраты – П, руб/га:

$$П = И + К \cdot k_B, \quad (5.9)$$

где k_B – нормативный коэффициент капитальных вложений.

- экономический эффект по приведенным затратам, руб/га:

$$\mathcal{E}_П = П_Б - П_Н , \quad (5.10)$$

где $П_Б$ – удельные приведенные затраты базовой технологии, руб/га;

$П_Н$ – удельные приведенные затраты новой технологии, руб/га.

- годовой экономический эффект на одну машину по технологии, руб:

$$\mathcal{E}_Г = \mathcal{E}_П \cdot T_{НМ} \cdot W_{ЭК} \quad (5.11)$$

Исходные данные для расчета экономической эффективности приведены в приложении Е. Результаты расчета основных показателей экономической эффективности приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Результаты расчета экономической эффективности нового приема основной обработки почвы модернизированным роторным плугом

| Показатели | Первая базовая технология | Вторая базовая технология | Новая технология |
|---|---------------------------|---|---|
| | | измельчение сидерата с последующей заделкой в почву при вспашке | укладка сидерата катком с заделкой дисковой бороной в два следа |
| удельные эксплуатационные затраты по технологиям основной обработки почвы, руб/га | 2447,86 | 2278,88 | 953,13 |
| удельные капитальные вложения по технологиям, р/га | 4577,15 | 4268,81 | 1478,88 |
| удельные приведенные затраты по технологиям, руб/га | 3134,42 | 2919,96 | 1174,96 |
| экономический эффект по приведенным затратам, руб/га | 1959,46 | 1745 | ← |
| годовой экономический эффект на одну машину по технологии, руб. | 622912,33 | 554735,5 | ← |

Результаты расчета основных показателей экономической эффективности наглядно показывают, что применение нового приема основной обработки почвы и модернизированного роторного плуга в технологии биологизированного земледелия позволяет снизить удельные приведенные затраты по сравнению с первым вариантом в 2,66 раза, со вторым вариантом в 2,48 раза. Удельные эксплуатационные затраты в 2,56 и 2,39 раза, соответственно. Удельные капитальные вложения по сравнению с первым вариантом в 3,09 раза со вторым вариантом в 2,88 раза. При этом существенно снижается расход нефтепродуктов – в 1,65 и 1,77 раза, экономия ГСМ на каждом гектаре составит от 5,6 до 6,6 кг по технологиям. Затраты труда по сравнению с базовыми вариантами технологией основной обработки почвы снижаются в 3,77 или 2,79 раза, соответственно.

Одним из преимуществ предлагаемого приема основной обработки почвы с использованием модернизированного роторного плуга заключается в том, что одновременно проводится полосное разуплотнение почвы на глубину пахотного горизонта. Проведение почвоуглубления как дополнительной операции в базовых технологиях с использованием МТЗ-82 в агрегате с глубокорыхлителем SJ-3-5 приведет к увеличению приведенных затрат по базовым технологиям на 1518,06 руб/га и увеличению расхода ГСМ до 12,5 кг/га (раздел 5.3).

Годовой экономический эффект от применения нового приема основной обработки почвы и модернизированного роторного плуга в технологии биологизированного земледелия по сравнению с базовыми технологиями обработки почвы составляет от 554735,5 до 622912,33 рублей.

5.2 Расчет основных показателей энергетической эффективности

Расчет проводили согласно Государственного стандарта «Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки» [25].

Для каждой сравниваемой технологии отдельно с учетом проводимых операций определяли:

- прямые затраты энергии – E_p , МДж/га:

$$E_{\Pi} = q \cdot (\varepsilon_T + f_T), \quad (5.12)$$

где ε_T – теплосодержание топлива, МДж/кг;

f_T – коэффициент, учитывающий дополнительные затраты энергии на производство топлива, 10 МДж/кг.

- затраты живого труда – $E_{ж}$, МДж/га:

$$E_{ж} = \frac{n_{ч} \cdot \varepsilon_{ж}}{W_{\varepsilon_{ж}}}, \quad (5.13)$$

где $n_{ч}$ – обслуживающий персонал, чел;

$\varepsilon_{ж}$ – энергетический эквивалент затрат живого труда, МДж/ч.

- удельную энергоёмкость трактора в расчете на 1 час работы – $E_{тр}$, МДж/ч:

$$E_{тр} = \frac{M_{тр} \varepsilon_{тр} \cdot (R_p + R_{кр} + R_{тр})}{100 T_{нм}}, \quad (5.14)$$

где $M_{тр}$ – масса трактора, кг;

$\varepsilon_{тр}$ – энергетический эквивалент трактора, МДж/ч;

$R_{кр}$, $R_{тр}$ – отчисления на капитальный и текущий ремонт.

- удельную энергоёмкость машины – $E_{маш}$, МДж/ч:

$$E_{маш} = \frac{M_{маш} \varepsilon_{маш} \cdot (R_p + R_{тр})}{100 T_{нм}}, \quad (5.15)$$

где $M_{маш}$ – масса машины, кг;

$\varepsilon_{маш}$ – энергетический эквивалент машины, МДж/ч.

Суммарную энергоёмкость агрегата в расчете на 1 га – $E_{МТА}$, МДж/га:

$$E_{МТА} = \frac{E_{тр} + E_{маш}}{W_{см}}. \quad (5.16)$$

Полные энергозатраты технологического процесса – $E_{ТП}$, МДж/га:

$$E_{ТП} = E_{\Pi} + E_{ж} + E_{МТА}. \quad (5.17)$$

Результаты расчета основных показателей энергетической эффективности приведены в таблице 5.2.

Проведенных расчеты показывают, что полные энергозатраты по базовой технологии составляют в первом случае 1578,56 МДж/га, во втором 1788,38 МДж/га, по новой технологии 604,94 МДж/га, то есть экономия энергозатрат составит в первом случае составит 973,06 МДж/га, во втором 1183,44 МДж/га.

Таблица 5.2 – Результаты расчета энергетической эффективности нового приема основной обработки почвы модернизированным роторным плугом

| Показатели | Первая базовая технология | Вторая базовая технология | Новая технология |
|---|---------------------------|---|---|
| | | измельчение сидерата с последующей заделкой в почву при вспашке | укладка сидерата катком с заделкой дисковой бороной в два следа |
| прямые затраты энергии по технологиям, МДж/га | 743,07 | 795,77 | 447,95 |
| затраты живого труда по технологиям, МДж/га | 2,53 | 1,88 | 0,67 |
| полные энергозатраты технологического процесса по технологии, МДж/га: | 1578,56 | 1788,38 | 604,94 |
| экономия энергозатрат, МДж/га | 973,06 | 1183,44 | ← |

Проведение дополнительной операции почвоуглубления в базовых технологиях с использованием агрегата МТЗ-82 + SJ-3-5 приведет к увеличению полных энергозатрат не менее чем на 1082,69 МДж/га, (раздел 5.3)

Результаты расчета позволяют сделать следующие выводы:

1. Применение тягово-приводного агрегата для основной обработки почвы на базе колёсного трактора класса 1,4 с модернизированным роторным плугом по сравнению с принятыми приемами в технологии биологизированного земледелия позволяет снизить прямые затраты энергии по технологиям в 1,65 и 1,77 раза, полные энергозатраты на выполнение технологического процесса в 2,6 и 2,95 раза, соответственно.

2. Применение приема основной обработки почвы модернизированным роторным плугом с совмещением операций измельчения, заделки растительной массы в верхний слой почвы на глубину до 0,15 м и полосного почвоуглубления на глубину пахотного горизонта является экономически и энергетически эффективным.

5.3 Расчет основных показателей экономических и энергетических затрат на выполнение операции почвоуглубления

Для полной оценки преимуществ нового приема основной обработки почвы модернизированным роторным плугом в технологии биологизированного земледелия, проведены расчеты экономических и энергетических затрат на выполнение дополнительной операции полосного почвоуглубления в применяемых технологиях основной обработки почвы. Для расчета принят тяговый агрегат МТЗ-82 + SJ-3-5. Расчет проведен, согласно методик, описанных в разделах 5.1 и 5.2, исходные данные для расчета затрат приведен в таблице 5.3, показатели затрат для выполнения операции приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.3 – Исходные данные для расчета

| Показатели глубокорыхлителя SJ-3-5 | Значения |
|--|----------|
| масса – $M_{\text{маш}}$, кг | 450 |
| рабочая ширина захвата, м. | 1,4 |
| оптовая цена – C_o , руб | 495000 |
| коэффициент затрат на поставку, сборку и регулировку – n | 1,1 |
| годовая нормативная загрузка – $T_{\text{нм}}$, ч | 190 |
| нормативный коэффициент эффективности кап. вложений – K_b | 0,15 |
| норма амортизационных отчислений на реновацию – a , % | 14,2 |
| норма отчислений на ТР и ТО – R_p , % | 16 |
| удельный расход нефтепродуктов – q , кг/га | 12,5 |
| производительность за час эксплуатационного времени - $W_{\text{эк}}$ | 2,1 |
| энергетический эквивалент типа машин, МДж/ч·кг | 0,1612 |
| энергетический эквивалент образца – $\varepsilon_{\text{маш}}$, МДж/ч | 72,57 |

Таблица 5.4 – Результаты расчета затрат на выполнение операции почвоуглубления агрегатом МТЗ 82 + SJ-3-5

| Показатели | Значения |
|---|----------|
| удельные эксплуатационные затраты, руб/га | 1247,51 |
| удельные капитальные вложения, р/га | 1803,69 |
| удельные приведенные затраты, руб/га | 1518,06 |
| прямые затраты энергии, МДж/га | 658,75 |
| энергозатраты живого труда, МДж/га | 0,6 |
| полные энергозатраты, МДж/га: | 739,25 |

Анализ результатов расчётов, приведенный в таблице 5.4 свидетельствует,

что почвоуглубление является достаточно энергозатратной технологической операцией, существенно влияет на совокупные затраты по основной обработке почвы в технологии биологизированного земледелия.

Проведение дополнительной операции полосного почвоуглубления в базовых технологиях трактором МТЗ-82 в агрегате с глубокорыхлителем SJ-3-5 приведет к увеличению по удельным приведенным затратам от 48,4 до 51,9%, удельным эксплуатационным затратам от 50,9 до 54,7%, по прямым затратам энергии от 82,7 до 88,6%. по полным энергозатратам от 41,3 до 46,8%, соответственно по первому и второму принятым и взятым для сравнения вариантам основной обработки почвы в технологии биологизированного земледелия.

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 ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеенко, А.П. Биоэнергетическая эффективность звеньев севооборота с занятыми и сидеральными парами в Ростовской области / А.П. Авдеенко, Н.А. Зеленский, А.Л. Безлюдкий // Успехи современного естествознания. – 2005. – № 6. – С. 77-78.
2. Авдеенко, А.П. Роль многолетних бобовых трав в ландшафтном земледелии Ростовской области. / А.П. Авдеенко, Н.А. Зеленский, Е.П. Луганцев // Фундаментальные исследования. – 2005. – № 3. – С. 62.
3. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М: Издательство «Наука», 1976. – 136 с.
4. Акимов, А.П. Основы расчета движущей силы рабочего органа-двигателя / А.П. Акимов // Тракторы и сельхозмашины. – 2004. – № 4. – С. 26-27.
5. Акимов, А.П. Повышение эффективности работы ротационных рабочих органов и колесных движителей мобильных машин в системе «двигатели - опорная поверхность»: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / А.П. Акимов – Саранск, 2005. – 50 с.
6. Акимов, А.П. Ротационные рабочие органы-двигатели / А.П. Акимов, В.И. Медведев – М.: Изд-во МГОУ, 2004. – 233 с.
7. Алексеев, Е.К. Зеленое удобрение в нечерноземной полосе. / Е.К. Алексеев. – М.: Сельхозгиз, 1959. – 278 с.
8. Амурская область в цифрах: Краткий статистический сборник / Амурстат – Благовещенск, 2018. – 222 с.
9. Амурский статистический ежегодник [Электронный ресурс]. – Благовещенск. – 2018. Амурстат. – Режим доступа: http://amurstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/amurstat/ru/publications/official_publications/electronic_versions/
10. Барский И.Б. Динамика трактора. / И.Б. Барский, В.Н. Анилович, Г.И. Кутьков. – М.: Машиностроение, 1973. – 280 с.

11. Бледных, В.В. Устройство, расчет и проектирование почвообрабатывающих орудий: учебное пособие / В.В. Бледных. – Челябинск: ЧГАА, 2010. – 213 с.
12. Буцолич, Е.В. Испытания дисковых плугов / Е.В. Буцолич // Земледельческая механика. – М., 1968, т. 10. – С. 28-37.
13. Буцолич, Е.В. Исследование работы дисковых орудий / Е.И. Буцолич // Земледельческая механика. – М., 1966, т. 9. – С. 40-45.
14. Валиев, А.Р. Снижение полных энергозатрат за счет повышения устойчивости движения агрегата / А.Р. Валиев, И.Н. Матвеев, С.В. Щитов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2015. - Т. 10. № 3 (37). – С. 72-76.
15. Веденяпин, Г.В. Эксплуатация машинно-тракторного парка/ Г.В. Веденяпин, Ю.К. Киртбая, М.П. Сергеев. – М.: Колос, 1968. – 344 с.
16. Верниченко, Л.Ю. Влияние соломы на почвенные процессы и урожай сельскохозяйственных культур / Л.Ю. Верниченко, Е.Н. Мишустин // Сб. тр.: Использование соломы как органического удобрения. – М.: Наука, 1980. – С. 3-33.
17. Ветохин, В.И. Тягово-приводные комбинированные почвообрабатывающие машины / В.И. Ветохин, И.М. Панов, В.А. Шмонин, В.А. Юзбашев – Киев: «Феникс», 2009. – 264 с.
18. Гащенко, А.А. К вопросу значимости исследования курсовой устойчивости машинно-тракторных агрегатов / А.А. Гащенко // Вестник Алтайского ГАУ. – 2015. – № 10 (132). – С. 86-88.
19. Глухих, М.А. Практикум по технологии производства продукции растениеводства в Зауралье и Западной Сибири: учебное пособие. Ч. 1 / М.А. Глухих. – Москва-Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 249 с.
20. Горин, Г.С. Динамика машинно-тракторных агрегатов: курсовая устойчивость с несимметрично присоединенным полунавесным плугом / Г.С. Горин, З.А. Годжаев, В.М. Головач, В.А. Кузьмин // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2017. – № 5. – С. 3-8.
21. Горячкин, В.П. Собрание сочинений в 3-х томах: – М.: Колос, 1965. – 720 с.

22. ГОСТ 20915-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. – М.: Стандартинформ, 2013. – 27 с.
23. ГОСТ 26244-84 Обработка почвы предпосевная. Требования к качеству и методы определения. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 5 с.
24. ГОСТ 28268-89 Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 6 с.
25. ГОСТ Р 52777-2007 Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки. – М.: Стандартинформ, 2008. – 11 с.
26. ГОСТ Р 52778-2007 Испытания сельскохозяйственной техники. Методы эксплуатационно-технологической оценки. – М.: Стандартинформ, 2008. – 27 с.
27. ГОСТ Р 53056-2008 Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – М.: Стандартинформ, 2009. – 23 с.
28. ГОСТ Р 54784-2011 Испытания сельскохозяйственной техники. Методы оценки технических параметров. – М.: Стандартинформ, 2006. – 23 с.
29. Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_133795/5303cbf5887f046040d640a02a9a5be568d44695/
30. Гринчук, И.М. Аналитические исследования фрезерных машин / И.М. Гринчук // Материалы НТС НИСХОМ. – М., 1970. – №27. – С. 20-35.
31. Гринчук, И.М. К вопросу выбора основных конструктивных параметров и режимов работы почвенных фрез / И.М. Гринчук, Ю.И. Матяшин // Тракторы и сельхозмашины. – 1969. – №1. – С. 25-28.
32. Гуськов, В.В. Тракторы / В.В. Гуськов, Н.Н. Велеев, Ю.Е. Атоманов. – М.: Машиностроение, 1988. – 376 с.
33. Гячев, Л.В. Динамика машинно-тракторных агрегатов. - Изд. Ростовского университета, 1976. – 62 с.
34. Гячев, Л.В. Устойчивость движения сельскохозяйственных машин и

агрегатов. – М.: Машиностроение, 1981. – 206 с.

35. 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.

36. 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: матер. Всерос. науч.-практ. конф., посвященной Году экологии в России (Благовещенск, 11 апреля 2018 г.). В 2 ч. Ч. 1. – Благовещенск: Изд-во Дальневосточного гос. аграрного ун-та. 2018. – С. 116-121.

37. 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 сельском хозяйственном производстве: сб. науч. тр. ДальГАУ. – Благовещенск: ДальГАУ, 2013. – Вып. 20. – С. 60-65.

38. 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 сельском хозяйственном производстве: Сб. науч. тр. ДальГАУ. – Благовещенск, ДальГАУ, 2011. – Вып. 18. – С. 51-54.

39. Демко, А.Н. Оптимальный режим работы роторного плуга / А.Н. Демко, Г.И. Орехов, А.Н. Панасюк // Сельский механизатор. – 2011. – №6. – С 8-9.

40. 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.

41. 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.

42. 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.

43. 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.

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

45. Дидманидзе, О.Н. Методы составления основных типов блочно-модульных рабочих машин и агрегатов [Текст]: научное издание / О.Н. Дидманидзе, В.В. Кошкин; Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина, Моск. гос. агроинж. ун-т // Совершенствование технологий и машин для агропромышленного комплекса. – М.: Изд-во МГАУ, 2002. – С. 3-7

46. Довбан, К.И. Зеленое удобрение в современном земледелии: вопросы теории и практики / К.И. Довбан – Минск: Беларус. наука – 2009. – 404 с.

47. Долгов, И.А. Сельскохозяйственные машины: теория, расчет, конструкция, использование. Том 3: Долгов И.А. Машины и орудия для обработки почвы, посева, посадки сельскохозяйственных растений и ухода за ними. – Т. 3, – Кн. 1. – Ч. 1. – зерноград: ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2011. – 543 с.

48. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта. / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

49. Доспехов, Б.А. Практикум по земледелию: учебное пособие / Б.А. Доспехов, И.П. Васильев, А.М. Туликов – 2-е изд., перераб. и доп. – М.:

Агропромиздат, 1987. – 383 с.

50. Емельянов, А.М. Элементы математической обработки и планирования инженерного эксперимента. Методические указания. / А.М. Емельянов, А.М. Гуров. Благовещенск: БСХИ, 1984. – 63 с.

51. Жук, А.Ф. Изыскание типа и обоснование параметров комбинированных рабочих органов для предпосевной обработки почвы: дис. ... канд. тех. наук: 20.05.01 / А.Ф. Жук – М., 1978. – 238 с.

52. Жук, А.Ф. Предпосылки снижения энергоемкости обработки почвы роторным плугом / А.Ф. Жук, М.Б. Халилов // НТБ ВИМ, М., 1991. – С. 3-8.

53. Завалишин, Ф.С. Основы расчета механизированных процессов в растениеводстве. – М.: Колос, 1973. – 319 с.

54. Зангиев, А.А. Оптимизация эксплуатационных параметров и режимов работы машинно-тракторных агрегатов. – М.: МИИСП, 1986. – 80 с.

55. Зангиев, А.А. Эксплуатация машинно-тракторного парка / А.А. Зангиев, А.В. Шпилько, А.Г. Левшин. – М.: КолосС, 2003. – 320 с.

56. Зональная система технологий и машин для растениеводства Дальнего Востока на 2006-2015 гг. (регистры технологий и машин) / ДальГАУ; под общ. ред. И.В. Бумбара, Б.И. Кашпуры, Ю.В. Терентьева. – Благовещенск: ДальГАУ, 2005. - 486 с.

57. Иофинов, С.А. Эксплуатация машинно-тракторного парка / – М.: Колос, 1974. – 479 с.

58. Исходные требования к Зональной системе технологий и машин для производства продуктов растениеводства в Дальневосточном регионе России – Благовещенск, ДальГАУ, 2007. – 166 с.

59. Камбулов С.И. Разработка комбинированного рабочего органа для послыйной безотвальной обработки почвы / И.В. Божко, Г.Г. Пархоменко, А.В. Громаков, В.А. Максименко, С.И. Камбулов // Тракторы и сельхозмашины. – 2018. - №6. С. 37-42.

60. Камбулов С.И. Динамика влагопереноса в почве в зависимости от технологий ее обработки и возделываемых культур // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий: сб. науч. докл.

Международ.науч.-техн. конф. – Москва: Изд-во ВНИИ МСХ. 2014. – С. 205-208.

61. Камбулов С.И. Влагодперенос почвы и технология её основной обработки / В.Б. Рыков, С.И. Камбулов, И.А. Камбулов, С.Д. Ридный, В.В. Колесник, Е.Б. Дёмина // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения Сб. статей 8-й междунар. науч.-практ. конф. в рамках 18-й междунар. агропром. выст. "Интерагромаш-2015". – 2015. С. 33-35.

62. Камчадалов, Е.П. Зонально-экологические основы совершенствования комплексов машин для земледелия: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01 / Е.П. Камчадалов. – Благовещенск, 1994. – 33 с.

63. Камчадалов, Е.П. Техногенно-нормируемая эксплуатация машинно-тракторного парка / Е.П. Камчадалов, Ю.Н. Рубан, А.В. Липкань – Благовещенск, ДальГАУ, 2003. – 120 с.

64. Канаев, Н.Ф. Механика почвообрабатывающей фрезы / Н.Ф. Канаев. – М.: Машгиз, 1957. – 120 с.

65. Канарев, Ф.М. Об изменении направления реакции почвы на рабочий орган при изменении угла резания / Ф.М. Канарев, Б.Н. Диденко // Труды Куб.СХИ. – Вып. 136 (164). – Краснодар, 1976. – С. 3-9.

66. Канарев, Ф.М. Определение удельного сопротивления дискового плуга / Ф.М. Канарев, Е.А. Кочкин, А.В. Осадчий // Труды / Куб.СХИ, Вып. 29 (57). – Краснодар, 1969. - С. 113-117.

67. Канарев, Ф.М. Ротационные почвообразующие машины и орудия / Ф.М. Канарев. – М.: Машиностроение, 1983. – 142 с.

68. Канарев, Ф.М. Теоретические исследования геометрии дискового рабочего органа / Ф.М. Канарев // Труды / Куб. СХИ, Вып. 29 (57). – Краснодар, 1969. – С. 120-129.

69. Канделя, М.В. Почвообрабатывающий навесной ротор ПРН-1,8 / М.В. Канделя, В.Н. Рябченко, В.А. Владимирский // Техника в сельском хозяйстве, №2, 2002. – С. 16-18.

70. Канев, Н.Ф. Роторный (фрезерный) культиватор для каменистых почв с обратным направлением вращения / Н.Ф. Канев // Материалы НТС ВИСХОМ. –

М.: ВИСХОМ, 1965. Вып. 20. – С. 84-93.

71. Карпенко, А.Н. Сельскохозяйственные машины. А.Н. Карпенко и др. – М.: Агропромиздат, 1989. – 527 с.

72. Кацыгин, В.В. Перспективные мобильные энергетические средства для сельскохозяйственного производства / В.В. Кацыгин, Г.С. Горин, А.А. Зенькович [др.]. – Минск: Наука и техника, 1982. – 272 с.

73. Кацыгин, В.В. Рациональные параметры энергонасыщенных тракторов и машинно-тракторных агрегатов / В.В. Кацыгин, М.С. Кринко, Е.С. Мельников и др. - Минск: Урожай, 1976. – С. 160.

74. Кириленко, Ю.П. Биологическое земледелие с позиции инженера / Ю.П. Кириленко / Система ведения биологического земледелия в мелкотоварном сельскохозяйственном производстве. – Благовещенск: Изд-во «Зея», 2005. – 112 с.

75. Кириленко, Ю.П. Биосферная психология как основа проектирования и функционирования агроэкосистем. – Благовещенск: ПКИ «Зея». – 2006 г. - 110с.

76. Киселёв, С.Н. Ротационные машины в экологическом земледелии / С.Н. Киселёв, Н.В. Перевозчикова // Вестник ФГОУ ВПО Московский ГАУ им. В.П. Горячкина. – 2008. - № 2(27). – С. 67-69.

77. Кленин, Н.И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Н.И. Кленин, В.А. Сакун – М.: Колос, 1994, – 751 с.

78. Конев, А.А. Система биологизации земледелия / А.А. Конев – Новосибирск: Новосибирский ГАУ, 2004. – 51 с.

79. Ксенович, И.П. Технологические основы и техническая концепция трактора второго поколения/ И.П. Ксенович, Г.М. Кутьков// Тракторы и с.-х. машины. – 1982. - №11 – С. 3-11.

80. Кутьков, Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. – М.: Колос, 2004. – 504 с.

81. Кутьков, Г.М. Тяговая динамика тракторов. – М.: Машиностроение, 1980. – 215 с.

82. Листопад, Г.Е. О силах, действующих на рабочий орган дискового плуга / Г.Е. Листопад, Ф.М. Канарев, В.С. Василюк // Доклады ВАСХНИЛ, № 8,

1974. – С. 36-39.

83. Лобачевский, Я.П. Обоснование параметров почворежущих рабочих органов для условий эксплуатации на суглинистых почвах / Я.П. Лобачевский, С.И. Старовойтов, В.Ф. Комогорцев – М.: Изд-во ФНАЦ ВИМ. 2018. – 304 с.

84. Лобачевский, Я.П. Современное состояние и тенденции развития почвообрабатывающих машин / Я.П. Лобачевский, Л.М. Колчина – М.: Росинформагротех, 2005. – 116 с.

85. Марченко, О.С. Обоснование параметров тягово-приводного агрегата на базе универсального энергосредства «Полесье» и плуга ротационного с чизельными рабочими органами / О.С. Марченко, В.И. Воробьев // Научные труды ВИМ, том 145 - М.: ВИМ, 2003, – С. 114-132.

86. Матяшин, Ю.И. Расчёт и проектирование ротационных почвообрабатывающих машин / Ю.И. Матяшин, И.М. Гринчук, Г.М. Егоров. – М.: Агропроиздат, 1988. – 176 с.

87. Матяшин, Ю.И. Разработка технологических и технических характеристик и создание комплекса ротационных машин для поверхностной обработки почвы: дис. ... д-ра. тех. наук: 05.20.01 / Ю.И. Матяшин – М., 1994. – 284 с.

88. Медведев, В.И. Энергетика машинных агрегатов с рабочими органами-двигателями / В.И. Медведев. – Чебоксары: Чувашское книжное изд-во, 1972. – 180 с.

89. Мингалимов, Р.Р. Результаты лабораторно-полевых исследований культиваторного агрегата с двигателями-рыхлителями / Р.Р. Мингалимов, Р.М. Мусин, А.А. Гашенко // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2008. – № 3. - С. 24-29.

90. Миронов, Д.А. Обоснование конструктивных параметров почворежущих рабочих органов / Д.А. Миронов, С.А. Сидоров, Я.П. Лобачевский, И.В. Лискин // Вестник ВИЭСХ. – 2018. – № 3 (32). С. 146-151.

91. Митков, А.Л. Статистические методы в сельскохозяйственном машиностроении / А.Л. Митков, С.В. Карандашевский. – М.: Машиностроение, 1978. – 360 с.

92. Мосяков, М.А. Расчет устойчивости машинно-тракторного агрегата /

М.А. Мосяков, С.А. Шишиморов // Актуальные проблемы агроинженерии в XXI веке: сб. науч. трудов конф. – Белгород: Белгородский ГАУ, 2018. – С. 149-151.

93. Музаев, Х.М. Почвообрабатывающая роторная машина нового типа / Х.М. Музаев, А.К. Гериханов // труды Кубанского ГАУ. – 2008. - № 12. – С. 199-202.

94. Мусин, Р.М. Мощной баланс культиваторного агрегата с дисками-двигателями / Р.М. Мусин, А.А. Гашенко // Аграрная наука - сельскому хозяйству: сб. науч. тр. Самарская ГСХА. – Самара: Самарская ГСХА, 2010 – С. 122-129.

95. Нартов, П.С. Дисковые почвообрабатывающие орудия / П.С. Нартов – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1972. – 184 с.

96. Николаев, В.А. Затраты энергии на преодоление трения полевой доски плуга о почву / В.А. Николаев, Д.В. Попов. // Тракторы и сельхозмашины – 2010. – №11 – С. 18-20.

97. Овсинский, И.Е. Новая система земледелия / Перепечатка публикации 1899 г. (Киев, тип. С.В. Кульженко). – Новосибирск: АГРО-СИБИРЬ, 2004. – 86 с.

98. 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.

99. Орехов, Г.И. К разработке комбинированной почвообрабатывающей машины / Г.И. Орехов, А.Н. Панасюк, В.П. Мухин, М.И. Татаринцев, 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.

100. 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.

101. Орешкин, М.В. Подходы к биологизации земледелия на основе совместных посевов полевых культур и бобовых трав в условиях Ростовской области / М.В. Орешкин // Вестник Алтайского ГАУ. – 2010. – № 5. – С. 18-22.

102. Орешкин, М.В. Создание экологически обоснованных почвообрабатывающих орудий / М.В. Орешкин // Справочник. Инженерный журнал. – М.: Машиностроение, 2011. – №1. – С. 29-35.

103. Орудие для воспроизводства плодородия почвы шириной захвата 2,4 м (ОВПП-2,4): прот. прием. испыт. № 02-04-07 (1020242) от 07.09.2007 – с. Зелёный Бор, 2007. – 37 с.

104. Панасюк, А.Н. Повышение эффективности работы транспортных агрегатов / А.Н. Панасюк, Ю.Б. Курков, Н.Н. Сенникова // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. – № 9. – С. 19-21.

105. 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.

106. 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. – 2013. – № 2. – С. 58-61.

107. Панов, И.М. Механико-технологические основы расчета и проектирования почвообрабатывающих машин с ротационными рабочими органами: дис. ... д-ра тех. наук: 20.01.05 / И.М. Панов. – Москва, 1983. – 382 с.

108. Панов, И.М. Теория, конструкция и расчет ротационных почвообрабатывающих машин / И.М. Панов, Ж.Е. Токушев. – Кокшетау: Изд.-во Кокшетауского университета, 2005. – 314 с.

109. Плуг «Пауэр диск» фирмы Буш Хог. Информационное сообщение – М.: ВИСХОМ, группа НТИ, вып. №1, 1988.

110. Попов, Г.Ф. Исследование технологических режимов и обоснование конструктивных параметров рабочих органов пропашных фрезерных культиваторов: автореф. дис. ... канд. техн. наук.: 20.01.05 / Г.Ф. Попов. – М., 1970. – 27 с.

111. Почвообрабатывающее орудие [Текст]: пат. 2453086 Рос. Федерация: МПК А01В 33/00 А01В7/00.

112. Редкокашин, А.А. Обоснование конструктивно-технологических параметров работы дисковой бороны с рабочими органами типа "качающаяся

шайба" в условиях Приморского края: дис. ... канд. техн. наук.: 20.01.05 / А.А. Редкокашин – Уссурийск, 2013. – 146 с.

113. Рославцев, А.В. Теория движения тягово-транспортных средств. Учебное пособие. – М.: УМЦ «Триада», 2003. – 172 с.

114. Ротор почвообрабатывающий навесной РПН-1,3. Инструкция по эксплуатации. – Биробиджан, 1998. – 20 с.

115. Ротор почвообрабатывающий навесной РПН-1,8. Инструкция по эксплуатации. – Биробиджан, 1998. – 20 с.

116. Русаков, В.В. Опыт освоения биологодинамической системы земледелия в КФК картофелеводческого направления «Деметра»: рекомендации / В.В. Русаков, Ю.П. Кириленко, А.В. Сюмак. – Благовещенск: ДальНИПТИМЭСХ, 2006. – 43 с.

117. Русаков, В.В. Повышение биологической активности наших почв – основной путь дальнейшего развития земледелия / В.В. Русаков, А.В. Сюмак, Ю.П. Кириленко // Механизация и электрификация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве. Сб. науч. тр. – Благовещенск: изд. ДальГАУ, 2008. – Вып. 15. – С. 159-165.

118. Русаков, В.В. Полное использование природных источников повышения продуктивности растениеводства – магистральный путь развития земледелия Амурской области / В.В. Русаков, А.В. Сюмак, Ю.П. Кириленко // Вестник Дальневосточного государственного аграрного университета. Благовещенск: изд. ДальГАУ, 2007. – Вып. 3. – С. 84-85.

119. Рыжков, А.В. Совершенствование биотехнологии обработки почвы с обоснованием параметров дискового рабочего органа: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / А.В. Рыжков – Белгород, 2004. – 174 с.

120. Самсонов, В.А. Основы теории мобильных сельскохозяйственных агрегатов / В.А. Самсонов, А.А. Заигиев, Ю.Ф. Лачуга, О.Н. Дидмашидзе. – М., Колос, 2000. – 247 с.

121. Система земледелия Амурской области / Под общ. ред. П.В. Тихончука. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2016. – 570 с.

122. Система технологий и машин для комплексной механизации растениеводства Амурской области на 2011-2015 гг./ Под общ. ред. И.В. Бумбара, А.Н. Панасюка, В.А. Тильбы. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2011. – 263 с.

123. Скорляков, В.И. Способы и технические средства контроля качества механизированных работ в растениеводстве: инструктивно-метод. издание / В.И. Скорляков, Т.А. Юрина, И.М. Киреев, З.М. Коваль. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2015. – 80 с.

124. Соловейчик, А.А. Обоснование технологической схемы почвообрабатывающего агрегата с совмещением функций рабочего органа и движителя: автореф. дис. ... кан. техн. наук: 05.20.01 / А.А. Соловейчик – Москва, 2007. – 25 с.

125. Соловейчик, А.А. Определение параметров ротационной почвообрабатывающей машины, совмещающей функции движителя мобильного агрегата / А.А. Соловейчик. – Экология и сельскохозяйственная техника. Том 1. Материалы 4-й научно-практической конференции. – СПб: СЗНИИМЭСХ, 2005. – С. 143-154.

126. Соловейчик, А.А. Расчет тягово-опорных показателей трактора с активным транспортно-технологическим модулем / А.А. Соловейчик, В.Р. Лехтер // Техника в сельском хозяйстве. – 2011. - №1. – С. 21-24.

127. Способ воспроизводства плодородия почвы в короткоротационных севооборотах [Текст]: пат. 2363126 Рос. Федерация: МПК А01В 79/00.

128. Стародинский, Д.З. Пути снижения энергоемкости работы почвенных фрез / Д.З. Стародинский // Матер. НТС ВИСХОМ. – М.: ВИСХОМ, 1968. Вып. 25. С. 612-619.

129. СТО АИСТ 4.1-2010 Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и орудия для глубокой обработки почвы. Методы и оценки функциональных показателей.

130. СТО АИСТ 4.2-2010 Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и орудия для поверхностной и мелкой обработки почвы. Методы оценки функциональных показателей.

131. Сюмак, А.В. Орудие с активными рабочими органами для воспроизводства плодородия почвы (ОВПП-2,4) / А.В. Сюмак, Ю.П. Кириленко, В.В. Русаков // *Агроинженерия*. – 2008. – №2 (27). – С. 82-84.

132. Сюмак, А.В. Повышение эффективности возделывания сои и зерновых культур в системе биологического земледелия / А.В. Сюмак, В.А. Тильба, С.М. Доценко // *Научная монография*. – Благовещенск: Изд-во «Зея». – 2012. – 260 с.

133. Сюмак, А.В. Разработка технологии и средств механизации для возделывания сои и зерновых культур в системе биологического земледелия (в условиях Дальневосточного региона). / А.В. Сюмак // автореф. дис. доктора техн. наук. 05.20.01. – М., 2014. – 48 с.

134. Сюмак, А.В. Результаты освоения ресурсосберегающей технологии и технических средств в хозяйствах Амурской области / А.В. Сюмак, В.В. Русаков, В.А. Мунгалов, А.В. Селин, А.А. Цыбань // *Техника в сельском хозяйстве*. – 2010. – № 6. – С. 11-13.

135. Технологическая система биологического направления производства зерновых и сои в трёхпольном севообороте: прот. прием. испыт. № 02-04-10 (12.10.012) от 25.11.2010. – с. Зелёный Бор, 2010. – 40 с.

136. Тибулин, Е.И. Сельскохозяйственные машины. (Конструкция, теория и расчет): учебное пособие / Е.И. Тибулин и др. – Краснодар, КГАУ, 2008. – 200 с.

137. Тильба, В.А. Технологии и комплекс машин для производства зерновых культур и сои в Амурской области: Коллективная научная монография / В.А. Тильба, В.Т. Синеговская, А.Н. Панасюк, М.М. Присяжный (и др.). – Благовещенск: Издательство ООО «Агромакс-Информ», 2011. – 134 с.

138. Фаробин, Я.Е. Теория поворота транспортных машин – М.: Машиностроение 1970. – 174 с.

139. Фомин, С.Д. Стабилизация курсовой устойчивости управляемого движения машинно-тракторного агрегата / С.Д. Фомин, В.И. Пындак, Д.С. Гапич // *Тракторы и сельхозмашины*. – 2015. - № 10. – С. 13-17.

140. Чудаков, Д.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля: учебное пособие / Д.А. Чудаков. – М.: Колос, 1972. – 384 с.

141. Шевцов, В.Г. О балансе мощности фрезерного машинно-тракторного агрегата. / В.Г. Шевцов, А.С. Марченко, В.Я. Иванов – Механизация и электрификация соц. сельского хозяйства, 1981, № 8, с. 120-124.
142. Щегорец, А.В. Биологизация технологии возделывания картофеля в условиях товарного производства. / А.В. Щегорец, О.В. Щегорец // Дальневосточный аграрный вестник. – 2007. – №1 (1) – С. 152-157.
143. Щегорец, О.В. Биологизация технологии возделывания картофеля в условиях адаптивного земледелия Амурской области / О.В. Щегорец, С.В. Адаменко, М.В. Коршун, Р.Н. Хайрулин // Биологические ресурсы Российского Дальнего Востока. – Благовещенск, Даль ГАУ. 2004. – С. 38-42.
144. Щегорец, О.В. Интенсивная технология и программирование урожая. – Благовещенск, 2000. – 93 с.
145. Щитов, С.В. Пути повышения эффективности использования колесных тракторов класса 1,4 в условиях Амурской области: монография / С.В. Щитов, И.А. Архипов, В.И. Злобин, И.Д. Темнюк, А.С. Щитов, С.В. Яценко. – Благовещенск: ДальГАУ, 2008. – 268 с.
146. Юзбашев, В.А. Влияние предварительного рыхления почвы на крутящий момент ротационного плуга / В.А. Юзбашев // Сб. науч. тр. ВИСХОМ. – М.: ВИСХОМ, – 1972. – Вып. №70. – С. 145-149.
147. Юзбашев, В.А. Исследование работы ротационного плуга, снабженного культиваторными лапами / Сб. науч. тр. ВИСХОМ. – М.: ВИСХОМ. – 1972. – Вып. №69. – С. 118-146.
148. Юзбашев, В.А. Исследования работы ротационного плуга с целью снижения его энергоемкости: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / В.А Юзбашев. – М., 1973. – 190 с.
149. Ямкова, В.А. География и история Амурской области в вопросах и ответах: учеб. пособие / В.А. Ямкова. – Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2015. – Ч. 1. (Природа). – 232 с.
150. Яцук, Е.П. Ротационные почвообрабатывающие машины. Конструкция, расчет и проектирование / Е.П. Яцук, И.М. Панов, Д.Н. Ефимов, О.С.

Марченко, А.Д. Черненко. – М.: Машиностроение. 1971. – 256 с.

151. Ahmad, D. Energy prediction model for disk plow combined with a rotary blade in wet clay soil / D. Ahmad, F. A. Amran // International Journal of Engineering and Technology – 2004. – Vol. 1 No. (2) – P. 102-114.

152. Anas DAbdAllahMohammed A. Ali. Determination of Draft Power Requirements for Tillage Implements Under Central Gezira Clay Soil Conditions / Anas DAbdAllahMohammed A. Ali, A. Osama A. // SUST Journal of Agricultural and Veterinary Sciences (SJAVS) – 2015. – Vol. 16 No. (2). – P. 20-26.

153. Mandal, S. Kr. Optimization of Design Parameters for Rotary tiller's Blade / Subrata Kr. Mandal, B. Bhattacharya, S. Mukherjee // Proceedings of the 1st International and 16th National Conference on Machines and Mechanisms (iNaCoMM2013), IIT Roorkee - Durgapur, India – CSIR, 2013 – P. 533-539.

154. Naderloo, L. Tillage depth and forward speed effects on draft of three primary tillage implements in clay loam soil / L. Naderloo, R. Alimadani, A. Akram, P. Javadikia, H. Zeinali Khanghah // Journal of Food, Agriculture & Environment. – 2009. – Vol.7 (3&4) – P 382-385.

155. Rusu, T. Effect of Minimum Tillage Systems on the Soil Conservation and Sustainability of Agricultural Production / T. Rusu, P. Gus, I. Bogdan, P.I. Moraru, A.I. Pop, I. Pacurar, D. Clapa, D.I. Marin, L.I. Pop, // Journal of Agricultural Machinery Science. – 2009. – Vol. 5 No. (3) – P. 241-245.

156. Vladimir Epifantsev. Cover crops as sources of nutrients increasing productivity of soya sown with wide-space method in the climate of the Amur Region, Russia / Vladimir 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.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А. Внедрение результатов исследования

«УТВЕРЖДАЮ»
 Директор
 ФГБНУ ДальНИИМЭСХ
 А.Н. Панасюк
 «*М*» *Июль* 2017 г



«УТВЕРЖДАЮ»
 Директор
 ООО «МИП ДальНИИМЭСХ»
 В.В. Шишкин
 «*М*» *Июль* 2017 г



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

модернизированного роторного плуга
 с почвоуглубителями

В результате проведения научно – исследовательских работ по теме № 0818 -2014 - 0003 «Разработать новые приемы и средства механизации для технологий возделывания сои, направленные на обеспечения почвенного плодородия», в ФГБНУ ДальНИИМЭСХ разработан и в 2015 ...2017 годах внедрен в ООО «МИП ДальНИИМЭСХ» модернизированный роторный плуг, оснащенный почвоуглубителями.

В процессе внедрения модернизированный роторный плуг в агрегате с трактором МТЗ - 80 осуществлял запахку сидератов и стерни пшеницы на площади 45 га.

При выполнении технологического процесса стойки – почвоуглубителя производили рыхление почвы с расстоянием 1,4 м и глубиной 0,25 м с одновременным измельчением органической массы и заделкой в почву на глубину до 0,15 м.

Установка стоек – почвоуглубителей разуплотняет почву, повышая курсовую устойчивость почвообрабатывающего агрегата.

По сравнению с агрегатом Т-150К+БДМ-6 применение модернизированного роторного плуга в агрегате с трактором МТЗ -80 позволяет снизить расход топлива на 2,5 кг/га, при норме выработки 10,0 га /смену. Экономический эффект составляет 1114,5 руб/га.

Предложения по дальнейшему использованию результатов: рекомендовать модернизированный роторный плуг с почвоуглубителями включить в перечень инновационных разработок для возделывания сельскохозяйственных культур в биологическом земледелии.

Представители:

Ведущий экономист

Е.П. Колесникова
 Е.П. Колесникова

Руководитель проектного бюро

Ю.Н. Смолянинов
 Ю.Н. Смолянинов

Представители:

Агроном - исследователь

В.А. Мизюков
 В.А. Мизюков

Инженер – исследователь

И.А. Басаргин
 И.А. Басаргин

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор
ФГБНУ ДальНИИМЭСХ

А.Н.Панасюк

«19» сентября 2016 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Глава
КФХ «Рубан»

В.С.Рубан

2016 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

роторного плуга с активными и пассивными рабочими органами

Мы, нижеподписавшиеся, старший научный сотрудник лаборатории механизации возделывания сельскохозяйственных культур ФГБНУ ДальНИИМЭСХ А.А.Цыбань, соискатель А.Н.Демко и глава КФХ «Рубан» В.С.Рубан составили настоящий акт о том, что в результате проведения научно-исследовательских работ по теме № 0818-2014-0003 «Разработать новые приемы и средства механизации для технологий возделывания сои, направленные на обеспечение почвенного плодородия», а также выполнения 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, оснащенными валом отбора мощности», в ДальНИИМЭСХ разработана конструкторская документация на роторный плуг. По разработанной конструкторской документации изготовлен и в 2016 году внедрен в КФХ «Рубан» роторный плуг, оснащенный активными и пассивными рабочими органами.

В процессе внедрения проведена производственная проверка роторного плуга при основной обработке пойменных почв. Роторный плуг в агрегате с трактором МТЗ-82 осуществлял запахку стерни пшеницы на площади 27 га. Производительность агрегата за час основного времени составила 1,9 га при расходе топлива 10,9 кг/га. Роторный плуг оснащен почвоуглубителями и дисковыми рабочими органами, имеющими привод от вала отбора мощности трактора. При выполнении технологического процесса почвоуглубители производили рыхление почвы в местах прохода колес трактора, а сферические диски осуществляли крошение пласта с одновременным измельчением находящихся на поле растений и пожнивных остатков и смешиванием их с почвой, обеспечивая накопление органических веществ в обрабатываемом слое. При внедрении выявлено, что установка почвоуглубителей устраняет чрезмерное уплотнение колеи при работе агрегата и компенсирует разворачивающий момент, создаваемый дисковыми рабочими органами, повышая курсовую устойчивость почвообрабатывающего агрегата.

Предложения по дальнейшему использованию результатов: рекомендовать роторный плуг с активными и пассивными рабочими органами к использованию при возделывании сельскохозяйственных культур.

Представители

ФГБНУ ДальНИИМЭСХ

А.А.Цыбань

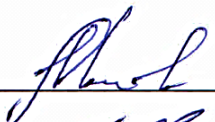
А.Н.Демко

Представитель

КФХ «Рубан» В.С.Рубан

Проведенные полевые исследования показали, что установка почвоуглубителей на роторный плуг позволяет повысить курсовую устойчивость почвообрабатывающего агрегата путем компенсации разворачивающего момента, создаваемого дисковыми рабочими органами. Установка почвоуглубителей по следам ведущих колес трактора устраняет чрезмерное уплотнение колеи при работе агрегата на рыхлых влажных почвах. Результаты этих исследований послужили основой для выполнения институтом государственного контракта с МСХ Амурской области № 1411 от 07.07.2014: «Разработка конструкторской документации роторного плуга для агрегатирования с тракторами тяговых классов 14-20 кН, оснащенных валом отбора мощности (Т-70С; МТЗ-82, -920, -923, -1025, -1221)». Разработанная конструкторская документация роторного плуга, оснащенного активными (почвообрабатывающий ротор с приводом от ВОМ трактора) и пассивными рабочими органами-почвоуглубителями передана для мелкосерийного производства на Шимановский машиностроительный завод «Кранспецбурмаш» и в производственное объединение «Гомсельмаш» для использования в качестве почвообрабатывающего адаптера к универсальному энергосредству.

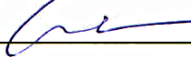
Заместитель директора
по научной работе
ФГБНУ ДальНИИМЭСХ


Г.И.Орехов

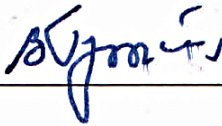
Соискатель


А.Н.Демко.

Ведущий конструктор


О.Б.Голубничий

Начальник управления
по технической политике
министерства сельского хозяйства
Амурской области


В.Н.Гутник

Приложение Б. Исходные требования

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МЕХАНИЗАЦИИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА»
(ФГБНУ ДальНИИМЭСХ)



УТВЕРЖДАЮ
Директор ФГБНУ ДальНИИМЭСХ

[Signature] А.Н.Панасюк

«10» *июня* 2016 г.

**Техническое средство для основной обработки почвы
с одновременной заделкой органической массы, находящейся на
поверхности поля**

Исходные требования

Рассмотрено и рекомендовано на
заседании
Научно-технического совета
ФГБНУ ДальНИИМЭСХ
Протокол № 3
от «06» *июня* 2016 г.

[Signature]
[Signature]

Председатель НТС
В.В. Шишкин

Секретарь НТС
А.В. Жуликова

1. Назначение

Техническое средство предназначено для рыхления верхнего слоя почвы, частичного измельчения и заделки в верхний (0...15 см) слой почвы находящейся на поле биологической массы (стерни, соломы, половы, сидеральных растений).

2. Место в системе машины для сельскохозяйственного производства

Разрабатывается взамен сельскохозяйственных машин для экстенсивных приемов обработки почвы, применяемых в настоящее время.

3. Зоны применения

Зерно-соесеющие регионы Дальнего Востока Российской Федерации

4. Условия применения

Техническое средство для основной обработки почвы с одновременной заделкой биомассы (сидеральных растений, НЧУ, стерни) должно обеспечивать качественное выполнение технологической операции на почвах различного механического состава (кроме каменистых почв) при абсолютной влажности почвы до 30% и средней твердости почвы в горизонте 0...15 см до 14,7 кг/см².

5. Предшественник, предшествующие и последующие технологические операции

Предшественником могут служить зерновые и другие культуры, многолетние травы, сидеральные и чистые пары.

Предшествующая операция – уборка урожая.

6. Требования к качеству выполнения

6.1. После прохода почвообрабатывающего агрегата сидеральные растения и стерня должны быть «вырваны» из почвы, частично измельчены и заделаны в верхний (0...15 см) слой почвы. Наличие на поверхности поля полос необработанной почвы не допускается.

6.2. Почва должна быть разрыхлена до мелкокомковатого состояния с преобладанием фракций комков от 1 до 50 мм.

6.3. Поверхность поля должна быть выровнена, глубина бороздок не более 5 см.

7. Экологические требования

7.1. В целях предотвращения развития водной эрозии почвы операции должны проводиться, как правило, поперек склона.

7.2. Количество эрозионно-опасных частиц размером менее 1 мм в верхнем слое (0-5 см) не должно возрастать по сравнению с их содержанием до выполнения данной операции.

7.3. Давление ходовых систем агрегатов на почву должно соответствовать ГОСТ 26955-86. Количество эрозионно-опасных частиц не должно возрастать по сравнению с их содержанием до выполнения данной операции.

7.4. Не допускается подтекание и каплепадение топлива, моторного и трансмиссионного масел, смазочных материалов, рабочих жидкостей гидросистем и других технических жидкостей через прокладки, сальники, заливные, контрольные и сливные пробки, в соединениях топливопроводов, шлангов и других соединительных элементов агрегата.

7.5. Общий процент истирания металла рабочих органов о почву не должен превышать 10% от первоначальной массы.

7.6. Вредные выбросы отработанных газов энергетического модуля агрегата не должны превышать норм в соответствии с ГОСТ 17.22.05-17 и ГОСТ 17.22.02-98. Уровень звука внешнего шума не должен превышать 85 дБа.

8. Вспомогательные операции

До выполнения операции производят осмотр поля и его подготовку; разбивку на загонки и поворотные полосы определяют направление и схему движения агрегата, подготовку агрегата к работе и его настройку. В течение операции – контроль за ходом технологического процесса и техническим состоянием агрегата, по окончании работы – оценка качества.

9. Требования технологической операции к конструкции и параметрам технических средств

9.1. Техническое средство комплектуется в агрегат с помощью навесного устройства с тракторами тягового класса 1,4...3

9.2. Конструкция машины должна обеспечить прямолинейность хода агрегата без дополнительных усилий со стороны тракториста и устранить условия для возникновения «паразитной» мощности в трансмиссии трактора.

9.3. Применяемые агрегаты должны обеспечить:

- коэффициент технологической надежности не менее 0,98;
- коэффициент технического использования не менее 0,96;
- коэффициент использования эксплуатационного времени не менее 0,8;
- коэффициент готовности не менее 0,98;
- срок службы не менее 7 лет.

9.4. Конструкция агрегата должна быть приспособлена к экологическому контролю.

9.5. Конструкция агрегата должна обеспечить после срока службы рециклирование не менее 80% его конструкционных материалов (по массе).

10. Требования техники безопасности

10.1. Соблюдение требований системы стандартов безопасности труда в соответствии с ГОСТ 12.2.111-85 «Машины сельскохозяйственные навесные и прицепные. Общие требования безопасности». ГОСТ 12.2.019-96 «Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные навесные и прицепные. Общие требования безопасности», ОСТ 46.0.141 – 83 «Процессы производственные в сельском хозяйстве. Общие требования безопасности».

11. Разработчик исходных требований

Исходные требования разработаны Дальневосточным научно-исследовательским институтом механизации и электрификации сельского хозяйства (ФГБНУ ДальНИИМЭСХ).

Приложение В. Уведомление о положительном результате формальной экспертизы заявки на изобретение

Федеральная служба по интеллектуальной
собственности
Федеральное государственное бюджетное
учреждение



**«Федеральный институт
промышленной собственности»
(ФИПС)**

Бережковская наб., 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-3, 125993
Телефон (8-499) 240-60-15. Факс (8-495) 531-63-18

Форма N 91 ИЗ-2017
910,371,401

ФГБНУ ДальНИИМЭСХ
ул. Василенко, 5
г. Благовещенск
Амурская обл.
675027

На № - от -
Наш № 2019100442/10(000639)
При переписке просим ссылаться на номер заявки
Исходящая корреспонденция от **24.01.2019**

Научно-иссл. ИВ
И.И.И.

У В Е Д О М Л Е Н И Е

**о положительном результате формальной экспертизы
заявки на изобретение**

(21) Заявка № 2019100442/10(000639)

Дата поступления документов заявки 09.01.19

(22) Дата подачи заявки 09.01.2019

(71) Заявитель(и) Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

Дальневосточный научно-исследовательский институт механизации и электрификации
сельского хозяйства (ФГБНУ ДальНИИМЭСХ), RU

(54) Название изобретения ОРУДИЕ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕЕ



| | | |
|---|----------------------------------|--------|
| 1 | ППД 09.01.2019 ЛГТ 09.01.2019 | 200142 |
|---|----------------------------------|--------|



Приложение Г. Таблицы для перевода делений угломера в градусы и минуты

ТАБЛИЦЫ ДЛЯ ПЕРЕВОДА ДЕЛЕНИЙ УГЛОМЕРА В ГРАДУСЫ И МИНУТЫ

| Деление угломера | Таблица А | | | | | | | | | |
|------------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0-00 | 1-00 | 2-00 | 3-00 | 4-00 | 5-00 | 6-00 | 7-00 | 8-00 | 9-00 |
| 0-00 | 0 | 6 | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 | 42 | 48 | 54 |
| 10-00 | 60 | 66 | 72 | 78 | 84 | 90 | 96 | 102 | 108 | 114 |
| 20-00 | 120 | 126 | 132 | 138 | 144 | 150 | 156 | 162 | 168 | 174 |
| 30-00 | 180 | 186 | 192 | 198 | 204 | 210 | 216 | 222 | 228 | 234 |
| 40-00 | 240 | 246 | 252 | 258 | 264 | 270 | 276 | 282 | 288 | 294 |
| 50-00 | 300 | 306 | 312 | 318 | 324 | 330 | 336 | 342 | 348 | 354 |

Градусы

| Деление угломера | Таблица Б | | | | | | | | | |
|------------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0-00 | 0-01 | 0-02 | 0-03 | 0-04 | 0-05 | 0-06 | 0-07 | 0-08 | 0-09 |
| 0-00 | 0 00 | 0 04 | 0 07 | 0 11 | 0 14 | 0 18 | 0 22 | 0 25 | 0 29 | 0 32 |
| 0-10 | 0 36 | 0 40 | 0 43 | 0 47 | 0 50 | 0 54 | 0 58 | 1 01 | 1 05 | 1 08 |
| 0-20 | 1 12 | 1 16 | 1 19 | 1 23 | 1 26 | 1 30 | 1 34 | 1 37 | 1 41 | 1 44 |
| 0-30 | 1 48 | 1 52 | 1 55 | 1 59 | 2 02 | 2 06 | 2 10 | 2 13 | 2 17 | 2 20 |
| 0-40 | 2 24 | 2 28 | 2 31 | 2 35 | 2 38 | 2 42 | 2 46 | 2 49 | 2 53 | 2 56 |
| 0-50 | 3 00 | 3 04 | 3 07 | 3 11 | 3 14 | 3 18 | 3 22 | 3 25 | 3 29 | 3 32 |
| 0-60 | 3 36 | 3 40 | 3 43 | 3 47 | 3 50 | 3 54 | 3 58 | 4 01 | 4 05 | 4 08 |
| 0-70 | 4 12 | 4 16 | 4 19 | 4 23 | 4 26 | 4 30 | 4 34 | 4 37 | 4 41 | 4 44 |
| 0-80 | 4 48 | 4 52 | 4 55 | 4 59 | 5 02 | 5 06 | 5 10 | 5 13 | 5 17 | 5 20 |
| 0-90 | 5 24 | 5 28 | 5 31 | 5 35 | 5 38 | 5 42 | 5 46 | 5 49 | 5 53 | 5 56 |

Примечания:

- а) Цена деления ГПК-59: одно малое деление – 00-20 или 20 тысячных; одно большое деление – 01-00 или 100 тысячных.
 б) Приняты следующие соотношения градусной меры и делений угломера 1°=00-16,66667, 1'=00-00,27778.

Приложение Д. Протоколы испытаний почвы

Испытательная лаборатория

по агрохимическому обслуживанию сельскохозяйственного производства
 Федерального государственного бюджетного учреждения
 «Станция агрохимической службы «Белогорская»
 676853, Амурская область, г. Белогорск, ул. Авиационная 17 Б, тел. 8(41641)5-47-96
 Аттестат аккредитации № РОСС RU. 0001.510010 от 27.10.2015 г.

Протокол испытаний № 493

от « 30 » октября 2017 года.

| |
|---|
| 1. Заказчик и его адрес: ФГБНУ ДальНИИМЭСХ Амурская область, г. Благовещенск, ул. Василенко, 5 |
| 2. Наименование пробы: Почва, проба №1 |
| 3. Место отбора проб: Опытное поле ДальНИИМЭСХ Амурская область, Тамбовский район, с. Садовое |
| 4. Сопроводительный документ: Акт отбора от 25.10.2017г. |
| 5. Дата получения образца: 25.10.2017 г. |
| 6. Период проведения испытаний: с 25.10.2017 г. по 27.10.2017г. |

Результаты испытаний:

| Анализируемый показатель | Ед. измер. | НД на методы испытаний | Результат измерений |
|--------------------------------------|------------|------------------------|---------------------|
| Массовая доля органического вещества | % | ГОСТ 26213-91 (п. 1) | 2,6 ± 0,5 |
| Массовая доля азота нитратов | мг/кг | ГОСТ 26951-86 | 20,9 ± 4,2 |
| Массовая доля подвижного фосфора | мг/кг | ГОСТ Р 54650-2011 | 49 ± 10 |
| Массовая доля подвижного калия | мг/кг | | 133 ± 20 |

Результаты касаются только образца, подвергнутого испытанию.

Запрещается частичная перепечатка протокола без разрешения испытательной лаборатории.

Начальник Испытательной лаборатории



В.В. Листопад

Испытательная лаборатория
 по агрохимическому обслуживанию сельскохозяйственного производства
 Федерального государственного бюджетного учреждения
 «Станция агрохимической службы «Белогорская»
 676853, Амурская область, г. Белогорск, ул. Авиационная 17 Б, тел. 8(41641)5-47-96
 Аттестат аккредитации № РОСС RU. 0001.510010 от 27.10.2015 г.

Протокол испытаний № 494
 от « 30 » октября 2017 года.

| |
|--|
| 1. Заказчик и его адрес: ФГБНУ ДальНИИМЭСХ Амурская область, г. Благовещенск, ул. Василенко, 5 |
| 2. Наименование пробы: Почва, проба №2 |
| 3. Место отбора проб: Опытное поле ДальНИИМЭСХ Амурская область, Тамбовский район, с. Садовое |
| 4. Сопроводительный документ: Акт отбора от 25.10.2017г. |
| 5. Дата получения образца: 25.10.2017 г. |
| 6. Период проведения испытаний: с 25.10.2017 г. по 27.10.2017г. |

Результаты испытаний:

| Анализируемый показатель | Ед. измер. | НД на методы испытаний | Результат измерений |
|--------------------------------------|------------|------------------------|---------------------|
| Массовая доля органического вещества | % | ГОСТ 26213-91 (п. 1) | 2,4 ± 0,5 |
| Массовая доля азота нитратов | мг/кг | ГОСТ 26951-86 | 17,0 ± 3,4 |
| Массовая доля подвижного фосфора | мг/кг | ГОСТ Р 54650-2011 | 146 ± 29 |
| Массовая доля подвижного калия | мг/кг | | 175 ± 26 |

Результаты касаются только образца, подвергнутого испытанию.
 Запрещается частичная перепечатка протокола без разрешения испытательной лаборатории.

Начальник Испытательной лаборатории



В.В. Листопад

Испытательная лаборатория
по агрохимическому обслуживанию сельскохозяйственного производства
Федерального государственного бюджетного учреждения
«Станция агрохимической службы «Белогорская»
676853, Амурская область, г. Белогорск, ул. Авиационная 17 Б, тел. 8(41641)5-47-96
Аттестат аккредитации № РОСС RU. 0001.510010 от 27.10.2015 г.

Протокол испытаний № 495
от « 30 » октября 2017 года.

| |
|---|
| 1. Заказчик и его адрес: ФГБНУ ДальНИИМЭСХ Амурская область, г. Благовещенск, ул. Василенко, 5 |
| 2. Наименование пробы: Почва, проба №3 |
| 3. Место отбора проб: Опытное поле ДальНИИМЭСХ Амурская область, Тамбовский район, с. Садовое |
| 4. Сопроводительный документ: Акт отбора от 25.10.2017г. |
| 5. Дата получения образца: 25.10.2017 г. |
| 6. Период проведения испытаний: с 25.10.2017 г. по 27.10.2017г. |

Результаты испытаний:

| Анализируемый показатель | Ед. измер. | НД на методы испытаний | Результат измерений |
|--------------------------------------|------------|------------------------|---------------------|
| Массовая доля органического вещества | % | ГОСТ 26213-91 (п. 1) | 3,0 ± 0,6 |
| Массовая доля азота нитратов | мг/кг | ГОСТ 26951-86 | 6,5 ± 2,0 |
| Массовая доля подвижного фосфора | мг/кг | ГОСТ Р 54650-2011 | 67 ± 13 |
| Массовая доля подвижного калия | мг/кг | | 165 ± 25 |

Результаты касаются только образца, подвергнутого испытанию.
Запрещается частичная перепечатка протокола без разрешения испытательной лаборатории.

Начальник Испытательной лаборатории



В.В. Листопад

Испытательная лаборатория
 по агрохимическому обслуживанию сельскохозяйственного производства
 Федерального государственного бюджетного учреждения
 «Станция агрохимической службы «Белогорская»
 676853, Амурская область, г. Белогорск, ул. Авиационная 17 Б, тел. 8(41641)5-47-96
 Аттестат аккредитации № РОСС RU. 0001.510010 от 27.10.2015 г.

Протокол испытаний № 496

от « 30 » октября 2017 года.

| |
|---|
| 1. Заказчик и его адрес: ФГБНУ ДальНИИМЭСХ Амурская область, г. Благовещенск, ул. Василенко, 5 |
| 2. Наименование пробы: Почва, проба №4 |
| 3. Место отбора проб: Опытное поле ДальНИИМЭСХ Амурская область, Тамбовский район, с. Садовое |
| 4. Сопроводительный документ: Акт отбора от 25.10.2017г. |
| 5. Дата получения образца: 25.10.2017 г. |
| 6. Период проведения испытаний: с 25.10.2017 г. по 27.10.2017г. |

Результаты испытаний:

| Анализируемый показатель | Ед. измер. | НД на методы испытаний | Результат измерений |
|--------------------------------------|------------|------------------------|---------------------|
| Массовая доля органического вещества | % | ГОСТ 26213-91 (п. 1) | 3,0 ± 0,6 |
| Массовая доля азота нитратов | мг/кг | ГОСТ 26951-86 | 5,2 ± 1,6 |
| Массовая доля подвижного фосфора | мг/кг | ГОСТ Р 54650-2011 | 90 ± 18 |
| Массовая доля подвижного калия | мг/кг | | 203 ± 30 |

Результаты касаются только образца, подвергнутого испытанию.

Запрещается частичная перепечатка протокола без разрешения испытательной лаборатории.

Начальник Испытательной лаборатории



В.В. Листопад

Испытательная лаборатория
по агрохимическому обслуживанию сельскохозяйственного производства
Федерального государственного бюджетного учреждения
«Станция агрохимической службы «Белогорская»
676853, Амурская область, г. Белогорск, ул. Авиационная 17 Б, тел. 8(41641)5-47-96
Аттестат аккредитации № РОСС RU. 0001.510010 от 27.10.2015 г.

Протокол испытаний № 497
от « 30 » октября 2017 года.

| |
|---|
| 1. Заказчик и его адрес: ФГБНУ ДальНИИМЭСХ Амурская область, г. Благовещенск, ул. Василенко, 5 |
| 2. Наименование пробы: Почва, проба №5 |
| 3. Место отбора проб: Опытное поле ДальНИИМЭСХ Амурская область, Тамбовский район, с. Садовое |
| 4. Сопроводительный документ: Акт отбора от 25.10.2017г. |
| 5. Дата получения образца: 25.10.2017 г. |
| 6. Период проведения испытаний: с 25.10.2017 г. по 27.10.2017г. |

Результаты испытаний:

| Анализируемый показатель | Ед. измер. | НД на методы испытаний | Результат измерений |
|--------------------------------------|------------|------------------------|---------------------|
| Массовая доля органического вещества | % | ГОСТ 26213-91 (п. 1) | 3,0 ± 0,6 |
| Массовая доля азота нитратов | мг/кг | ГОСТ 26951-86 | 3,0 ± 0,9 |
| Массовая доля подвижного фосфора | мг/кг | ГОСТ Р 54650-2011 | 108 ± 22 |
| Массовая доля подвижного калия | мг/кг | | 333 ± 50 |

Результаты касаются только образца, подвергнутого испытанию.
Запрещается частичная перепечатка протокола без разрешения испытательной лаборатории.

Начальник Испытательной лаборатории



Испытательная лаборатория
по агрохимическому обслуживанию сельскохозяйственного производства
Федерального государственного бюджетного учреждения
«Станция агрохимической службы «Белогорская»
676853, Амурская область, г. Белогорск, ул. Авиационная 17 Б, тел. 8(41641)5-47-96
Аттестат аккредитации № РОСС RU. 0001.510010 от 27.10.2015 г.

Протокол испытаний № 498
от « 30 » октября 2017 года.

| |
|---|
| 1. Заказчик и его адрес: ФГБНУ ДальНИИМЭСХ Амурская область, г. Благовещенск, ул. Василенко, 5 |
| 2. Наименование пробы: Почва, проба №6 |
| 3. Место отбора проб: Опытное поле ДальНИИМЭСХ Амурская область, Тамбовский район, с. Садовое |
| 4. Сопроводительный документ: Акт отбора от 25.10.2017г. |
| 5. Дата получения образца: 25.10.2017 г. |
| 6. Период проведения испытаний: с 25.10.2017 г. по 27.10.2017г. |

Результаты испытаний:

| Анализируемый показатель | Ед. измер. | НД на методы испытаний | Результат измерений |
|--------------------------------------|------------|------------------------|---------------------|
| Массовая доля органического вещества | % | ГОСТ 26213-91 (п. 1) | 3,2 ± 0,5 |
| Массовая доля азота нитратов | мг/кг | ГОСТ 26951-86 | 21,4 ± 4,3 |
| Массовая доля подвижного фосфора | мг/кг | ГОСТ Р 54650-2011 | 116 ± 23 |
| Массовая доля подвижного калия | мг/кг | | 403 ± 61 |

Результаты касаются только образца, подвергнутого испытанию.

Запрещается частичная перепечатка протокола без разрешения испытательной лаборатории.

Начальник Испытательной лаборатории



В.В. Листопад

Испытательная лаборатория
по агрохимическому обслуживанию сельскохозяйственного производства
Федерального государственного бюджетного учреждения
«Станция агрохимической службы «Белогорская»
676853, Амурская область, г. Белогорск, ул. Авиационная 17 Б, тел. 8(41641)5-47-96
Аттестат аккредитации № РОСС RU. 0001.510010 от 27.10.2015 г.

Протокол испытаний № 499

от « 30 » октября 2017 года.

| |
|---|
| 1. Заказчик и его адрес: ФГБНУ ДальНИИМЭСХ Амурская область, г. Благовещенск, ул. Василенко, 5 |
| 2. Наименование пробы: Почва, проба №7 |
| 3. Место отбора проб: Опытное поле ДальНИИМЭСХ Амурская область, Тамбовкий район, с. Садовое |
| 4. Сопроводительный документ: Акт отбора от 25.10.2017г. |
| 5. Дата получения образца: 25.10.2017 г. |
| 6. Период проведения испытаний: с 25.10.2017 г. по 27.10.2017г. |

Результаты испытаний:

| Анализируемый показатель | Ед. измер. | НД на методы испытаний | Результат измерений |
|--------------------------------------|------------|------------------------|---------------------|
| Массовая доля органического вещества | % | ГОСТ 26213-91 (п. 1) | 2,2 ± 0,4 |
| Массовая доля азота нитратов | мг/кг | ГОСТ 26951-86 | 5,1 ± 1,5 |
| Массовая доля подвижного фосфора | мг/кг | ГОСТ Р 54650-2011 | 97 ± 19 |
| Массовая доля подвижного калия | мг/кг | | 273 ± 41 |

Результаты касаются только образца, подвергнутого испытанию.

Запрещается частичная перепечатка протокола без разрешения испытательной лаборатории.

Начальник Испытательной лаборатории



В.В. Листопад

Испытательная лаборатория
по агрохимическому обслуживанию сельскохозяйственного производства
Федерального государственного бюджетного учреждения
«Станция агрохимической службы «Белогорская»
676853, Амурская область, г. Белогорск, ул. Авиационная 17 Б, тел. 8(41641)5-47-96
Аттестат аккредитации № РОСС RU. 0001.510010 от 27.10.2015 г.

Протокол испытаний № 500
от « 30 » октября 2017 года.

| |
|--|
| 1. Заказчик и его адрес: ФГБНУ ДальНИИМЭСХ Амурская область, г. Благовещенск, ул. Василенко, 5 |
| 2. Наименование пробы: Почва, проба №8 |
| 3. Место отбора проб: Опытное поле ДальНИИМЭСХ Амурская область, Тамбовский район, с. Садовое |
| 4. Сопроводительный документ: Акт отбора от 25.10.2017г. |
| 5. Дата получения образца: 25.10.2017 г. |
| 6. Период проведения испытаний: с 25.10.2017 г. по 27.10.2017г. |

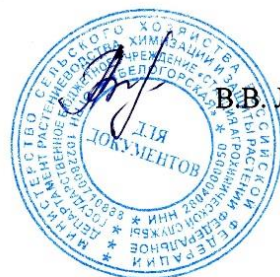
Результаты испытаний:

| Анализируемый показатель | Ед. измер. | НД на методы испытаний | Результат измерений |
|--------------------------------------|------------|------------------------|---------------------|
| Массовая доля органического вещества | % | ГОСТ 26213-91 (п. 1) | 2,0 ± 0,4 |
| Массовая доля азота нитратов | мг/кг | ГОСТ 26951-86 | 4,8 ± 1,4 |
| Массовая доля подвижного фосфора | мг/кг | ГОСТ Р 54650-2011 | 71 ± 14 |
| Массовая доля подвижного калия | мг/кг | | 221 ± 33 |

Результаты касаются только образца, подвергнутого испытанию.

Запрещается частичная перепечатка протокола без разрешения испытательной лаборатории.

Начальник Испытательной лаборатории



В.В. Листопад

Испытательная лаборатория
по агрохимическому обслуживанию сельскохозяйственного производства
Федерального государственного бюджетного учреждения
«Станция агрохимической службы «Белогорская»
676853, Амурская область, г. Белогорск, ул. Авиационная 17 Б, тел. 8(41641)5-47-96
Аттестат аккредитации № РОСС RU. 0001.510010 от 27.10.2015 г.

Протокол испытаний № 501

от « 30 » октября 2017 года.

| |
|---|
| 1. Заказчик и его адрес: ФГБНУ ДальНИИМЭСХ Амурская область, г. Благовещенск, ул. Василенко, 5 |
| 2. Наименование пробы: Почва, проба №9 |
| 3. Место отбора проб: Опытное поле ДальНИИМЭСХ Амурская область, Тамбовский район, с. Садовое |
| 4. Сопроводительный документ: Акт отбора от 25.10.2017г. |
| 5. Дата получения образца: 25.10.2017 г. |
| 6. Период проведения испытаний: с 25.10.2017 г. по 27.10.2017г. |

Результаты испытаний:

| Анализируемый показатель | Ед. измер. | НД на методы испытаний | Результат измерений |
|--------------------------------------|------------|------------------------|---------------------|
| Массовая доля органического вещества | % | ГОСТ 26213-91 (п. 1) | 2,0 ± 0,4 |
| Массовая доля азота нитратов | мг/кг | ГОСТ 26951-86 | 5,5 ± 1,7 |
| Массовая доля подвижного фосфора | мг/кг | ГОСТ Р 54650-2011 | 67 ± 13 |
| Массовая доля подвижного калия | мг/кг | | 203 ± 31 |

Результаты касаются только образца, подвергнутого испытанию.

Запрещается частичная перепечатка протокола без разрешения испытательной лаборатории.

Начальник Испытательной лаборатории



В.В. Листопад

Испытательная лаборатория
 по агрохимическому обслуживанию сельскохозяйственного производства
 Федерального государственного бюджетного учреждения
 «Станция агрохимической службы «Белогорская»
 676853, Амурская область, г. Белогорск, ул. Авиационная 17 Б, тел. 8(41641)5-47-96
 Аттестат аккредитации № РОСС RU. 0001.510010 от 27.10.2015 г.

Протокол испытаний № 502
 от « 30 » октября 2017 года.

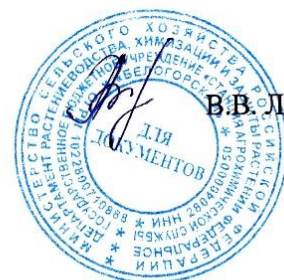
| |
|--|
| 1. Заказчик и его адрес: ФГБНУ ДальНИИМЭСХ Амурская область, г. Благовещенск, ул. Василенко, 5 |
| 2. Наименование пробы: Почва, проба №10 |
| 3. Место отбора проб: Опытное поле ДальНИИМЭСХ Амурская область, Тамбовский район, с. Садовое |
| 4. Сопроводительный документ: Акт отбора от 25.10.2017г. |
| 5. Дата получения образца: 25.10.2017 г. |
| 6. Период проведения испытаний: с 25.10.2017 г. по 27.10.2017г. |

Результаты испытаний:

| Анализируемый показатель | Ед. измер. | НД на методы испытаний | Результат измерений |
|--------------------------------------|------------|------------------------|---------------------|
| Массовая доля органического вещества | % | ГОСТ 26213-91 (п. 1) | 2,2 ± 0,4 |
| Массовая доля азота нитратов | мг/кг | ГОСТ 26951-86 | 4,9 ± 1,5 |
| Массовая доля подвижного фосфора | мг/кг | ГОСТ Р 54650-2011 | 93 ± 19 |
| Массовая доля подвижного калия | мг/кг | | 207 ± 31 |

Результаты касаются только образца, подвергнутого испытанию.
 Запрещается частичная перепечатка протокола без разрешения испытательной лаборатории.

Начальник Испытательной лаборатории



В.В. Листопад

Испытательная лаборатория
 по агрохимическому обслуживанию сельскохозяйственного производства
 Федерального государственного бюджетного учреждения
 «Станция агрохимической службы «Белогорская»
 676853, Амурская область, г. Белогорск, ул. Авиационная 17 Б, тел. 8(41641)5-47-96
 Аттестат аккредитации № РОСС RU. 0001.510010 от 27.10.2015 г.

Протокол испытаний № 503
 от « 30 » октября 2017 года.

| |
|---|
| 1. Заказчик и его адрес: ФГБНУ ДальНИИМЭСХ Амурская область, г. Благовещенск, ул. Василенко, 5 |
| 2. Наименование пробы: Почва, проба №11 |
| 3. Место отбора проб: Опытное поле ДальНИИМЭСХ Амурская область, Тамбовский район, с. Садовое |
| 4. Сопроводительный документ: Акт отбора от 25.10.2017г. |
| 5. Дата получения образца: 25.10.2017 г. |
| 6. Период проведения испытаний: с 25.10.2017 г. по 27.10.2017г. |

Результаты испытаний:

| Анализируемый показатель | Ед. измер. | НД на методы испытаний | Результат измерений |
|--------------------------------------|------------|------------------------|---------------------|
| Массовая доля органического вещества | % | ГОСТ 26213-91 (п. 1) | 3,0 ± 0,6 |
| Массовая доля азота нитратов | мг/кг | ГОСТ 26951-86 | 5,6 ± 1,7 |
| Массовая доля подвижного фосфора | мг/кг | ГОСТ Р 54650-2011 | 134 ± 27 |
| Массовая доля подвижного калия | мг/кг | | 473 ± 71 |

Результаты касаются только образца, подвергнутого испытанию.

Запрещается частичная перепечатка протокола без разрешения испытательной лаборатории.

Начальник Испытательной лаборатории



В.В. Листопад

Испытательная лаборатория
по агрохимическому обслуживанию сельскохозяйственного производства
Федерального государственного бюджетного учреждения
«Станция агрохимической службы «Белогорская»
676853, Амурская область, г. Белогорск, ул. Авиационная 17 Б, тел. 8(41641)5-47-96
Аттестат аккредитации № РОСС RU. 0001.510010 от 27.10.2015 г.

Протокол испытаний № 504
от « 30 » октября 2017 года.

| |
|--|
| 1. Заказчик и его адрес: ФГБНУ ДальНИИМЭСХ Амурская область, г. Благовещенск, ул. Василенко, 5 |
| 2. Наименование пробы: Почва, проба №12 |
| 3. Место отбора проб: Опытное поле ДальНИИМЭСХ Амурская область, Тамбовский район, с. Садовое |
| 4. Сопроводительный документ: Акт отбора от 25.10.2017г. |
| 5. Дата получения образца: 25.10.2017 г. |
| 6. Период проведения испытаний: с 25.10.2017 г. по 27.10.2017г. |

Результаты испытаний:

| Анализируемый показатель | Ед. измер. | НД на методы испытаний | Результат измерений |
|--------------------------------------|------------|------------------------|---------------------|
| Массовая доля органического вещества | % | ГОСТ 26213-91 (п. 1) | 3,2 ± 0,5 |
| Массовая доля азота нитратов | мг/кг | ГОСТ 26951-86 | 4,4 ± 1,3 |
| Массовая доля подвижного фосфора | мг/кг | ГОСТ Р 54650-2011 | 64 ± 13 |
| Массовая доля подвижного калия | мг/кг | | 193 ± 29 |

Результаты касаются только образца, подвергнутого испытанию.
Запрещается частичная перепечатка протокола без разрешения испытательной лаборатории.

Начальник Испытательной лаборатории



В.В. Листопад

Приложение Е. Таблица исходных данных для расчета экономической и энергетической эффективности

| Показатели | Исходные данные | Первая базовая технология | | | Вторая базовая технология | | | Новая технология – заделка сидератов и стерни роторным плугом |
|--|-----------------|--|-------------------|--------------------------|---|-------------------------------|---------|---|
| | | Измельчение сидератов с последующей заделкой сидеральной массы при вспашке почвы | | | Укладка сидерата катком с заделкой дисковой бороной в два следа | | | |
| | | измельчение сидератов | вспашка почвы | укладка гравостоя катком | укладка гравостоя катком | обработка дисками в два следа | | |
| Исходные данные для расчета экономической эффективности | | | | | | | | |
| состав агрегата | | МТЗ-82 + КИР-1.5 | МТЗ-82 + ПЛН-3-35 | МТЗ-82 + ЗКВГ-1,4 | МТЗ-82 + БДП-3,0 | МТЗ-82 + роторный плуг | | |
| оптовая цена, руб.: | | 1290000 | 1290000 | 1290000 | 1290000 | 1290000 | 1290000 | 1290000 |
| трактора | | 310000 | 86000 | 125000 | 315254 | 244650 | | |
| с.-х. машины | | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | | 1,1 |
| коэффициент, учитывающий затраты на поставку/сборку и регулировку машины | | | | | | | | |
| годовая нормативная загрузка, ч: | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | | 1200 |
| трактора | | 160 | 215 | 112 | 190 | 170 | | 170 |
| с.-х. машины | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| количество обслуживающего персонала, чел. | | | | | | | | |
| нормативный коэффициент эффективности кап вложений | | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,15 | | 0,15 |
| норма амортизационных отчислений на реновацию, %: | | | | | | | | |
| трактора | | 12,5 | 12,5 | 12,5 | 12,5 | 12,5 | | 12,5 |
| с.-х. машины | | 14,2 | 12,5 | 12,5 | 14,2 | 14,2 | | 14,2 |
| норма отчислений на ТР и ТО, %: | | | | | | | | |
| трактора | | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | | 22 |
| с.-х. машины | | 10 | 27 | 14 | 14 | 14 | | 14 |
| удельный расход нефтепродуктов, кг/га | | | | | | | | |
| | | 3,5 | 10,6 | 1,7 | 6,7 | 8,5 | | 8,5 |
| стоимость 1 кг топлива, руб. | | 48,00 | 48,00 | 48,00 | 48,00 | 48,00 | | 48,00 |
| часовая тарифная ставка, руб.: | | | | | | | | |
| механизатора | | 165,08 | 165,08 | 165,08 | 165,08 | 165,08 | | 165,08 |
| производительность за час эксплуатационного времени | | 1,3 | 0,8 | 2,6 | 1,8 | 1,87 | | 1,87 |
| Исходные данные для расчета энергетической эффективности | | | | | | | | |
| Масса машин, кг | | 3850/970 | 3850/463 | 3850/1550 | 3850/1750 | 3850/850 | | 3850/850 |
| Энергетический эквивалент типа машин, МДж/ч кг | | --- | 0,0272/0,2272 | 0,0272/0,6897 | 0,0272/0,2422 | 0,0272/0,1472 | | 0,0272/0,1472 |
| Энергетический эквивалент образца, МДж/ч | | 104,72/230,38 | 104,72/319,33 | 104,72/375,41 | 104,72/257,6 | 104,72/125,12 | | 104,72/125,12 |
| Энергетический эквивалент дизельного топлива МДж/кг | | 37 | --- | --- | --- | --- | | --- |
| Затраты живого труда МДж/(чел-ч) | | 1,26 | --- | --- | --- | --- | | --- |