ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«АЛТАЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

ЯКОВЛЕВ ДАНИИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОШНИКОВ ПРИ РАБОТЕ ПОСЕВНЫХ АГРЕГАТОВ В УСЛОВИЯХ РАЗЛИЧНОЙ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ СТЕПНОЙ ЗОНЫ СИБИРИ

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Беляев В.И.

Барнаул – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ .. 10
1.1 Технологии возделывания зерновых культур и особенности условий Алтайского края 10
1.2 Сеялки для работы в условиях ресурсосберегающих технологий 15
1.3 Сошники сеялок и процессы их взаимодействия с почвой 24
1.4 Анализ теоретических исследований по энергетической оценке МТА 33
1.5 Выводы, цель и задачи исследования 45
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПОСЕВНЫХ АГРЕГАТОВ 48
2.1 Физико-механические свойства почвы, влияющие на её сопротивление 48
2.2 Тяговое сопротивление сошников сеялок с учетом влажности почвы 52
2.2.1 Тяговое сопротивление анкерного сошника 53
2.2.2 Тяговое сопротивление лапового сошника 57
2.2.3 Тяговое сопротивление всей сеялки 60
2.3 Зависимость тягового сопротивления и расхода топлива 67
2.4 Математическая модель оптимизации параметров и режимов работы посевного агрегата в условиях различной влажности почвы 69
2.5 Выводы по главе 78
ГЛАВА 3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 79
3.1 Программа экспериментальных исследований 79
3.2 Выбор отклика, числа факторов и уровней варьирования 79
3.3 Методика проведения полевого опыта 82
3.3.1 Схема проведения полевого опыта 82
3.3.2 Методика определения скорости движения трактора 84
3.3.3 Методика определения расхода топлива 86

3.4 Методика определения основных физико-механических характеристик обрабатываемой почвы 92
3.5 Методика агротехнической оценки 94
3.6 Методика оценки ошибок измерений и обработки результатов 95
3.7 Измерительные приборы и оборудование 98
3.8 Выводы по главе 100
ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 102
4.1 Результаты проведения энергетической оценки посевного агрегата 102
4.2 Сходимость теоретических и экспериментальных исследований 106
4.3 Результаты проведения агротехнической оценки посевного агрегата 109
4.4 Практическое использование результатов исследования 113
4.5 Выводы по главе 114
ГЛАВА 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОСЕВНОГО АГРЕГАТА 115
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ 119
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 122
ПРИЛОЖЕНИЯ 142

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с утвержденными Правительством Российской Федерации Государственной программой развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013 - 2020 годы от 14 июля 2012 г. № 717, Федеральной научно-технической программой развития сельского хозяйства на 2017 - 2025 годы от 25 августа 2017 г. № 996 и Стратегией развития сельскохозяйственного машиностроения России на период до 2030 года от 7 июля 2017 г. № 1455-р необходимо обеспечивать стабильный рост производства отечественной сельскохозяйственной продукции, технических средств и снижать уровень импортозависимости за счет внедрения и использования новых технологий при интенсивном взаимодействии с наукой.

В связи с этим, а также в продолжение развития успешно реализованного проекта по разработке и совершенствованию технических средств для посева зерновых культур 11071ГУ/2016 (20.02.2017 года) от Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно – технической сфере, был определен вектор дальнейшего развития тематики исследований.

В настоящее время в распоряжении сельхозтоваропроизводителей, имеется множество посевных агрегатов, произведенных в России и за рубежом. Данные машины изготавливаются с возможностью реализации необходимых технологий возделывания и применения их в различных условиях земледелия.

Как известно, на сегодняшний день, рынок техники достаточно насыщен посевными агрегатами, но, к сожалению, фермеры даже путем покупки дорогостоящих посевных комплексов не могут гарантировать себе, что посевная пройдет без проблем. Это определяется в первую очередь погодными условиями в преддверии посевной.

Примером этому могут послужить влажные вёсны. Когда из-за чрезмерного количества осадков почва бывает очень влажной, что затрудняет посевные работы.

В основном в фермерских хозяйствах преобладают многооперационные посевные машины, поскольку аграрии стремятся снизить расходы ресурсов за счет

уменьшения количества операций требующих дополнительных проходов по полю. А поскольку культивация является основополагающей операцией перед посевом, то и часть посевных агрегатов приобретается преимущественно с лаповыми рабочими органами. По распространенным данным известно [130], что при повышенной влажности стрельчатые лапы начинают испытывать чрезмерное тяговое сопротивление со стороны почвы, которая сгруживается перед сошниками и забивает основные их части, в итоге на поле мы видим недопустимые агротехническими требованиями глыбистость, гребнистость и неравномерность глубины заделки семян. Данные проблемы возникают тогда, когда влажность почвы начинает превышать отметку 25%, что во многом зависит от гранулометрического состава почв, чем тяжелее почвы, тем ниже может быть критическая отметка их увлажнения [41].

Вследствие сказанного, необходимо учитывать и тот факт, что с повышением тягового усилия на агрегатирование посевных машин функционально возрастает и расход топлива тракторных двигателей.

В связи с этим, перспективным является использование посевных агрегатов, предназначенных для работ по технологиям прямого посева. Как известно, данные сеялки и посевные комплексы комплектуются специальными анкерными и долотовидными рабочими органами, их преимущество в том, что они имеют меньшую площадь сопротивления, нежели стрельчатые лапы. В результате их применения лучше соблюдаются агротехнические требования предъявляемые к посеву и обеспечивается экономия топлива за счет снижения тягового усилия на агрегатирование. Однако, использование агрегатов такого типа влечёт за собой повышение требований к защите растений. В настоящее время такие технологии получают все большее распространение и большинство хозяйств Сибири успешно применяют опрыскиватели, как прицепные, так и самоходные российского и зарубежного производства.

Исходя из данного опыта, приходим к выводу, что хозяйствам в период посевной, необходимы сеялки, оборудованные различными типами рабочих органов

для посева как в условиях избыточного увлажнения, так и засухи. Рациональный их выбор и возможность замены должны определяться состоянием почвы.

Поэтому необходимо изыскивать новые дифференцированные решения для повышения эффективности посева в конкретных условиях путем обоснования типов и параметров конструкций рабочих органов посевных агрегатов и технологических режимов их работы.

Цель исследования – снижение энергетических затрат на выполнение посевных работ, за счет рационального выбора типа сошников и рабочих скоростей движения посевных агрегатов.

Объект исследования – процесс посева зерновых культур в условиях различной влажности почв с учётом энергозатрат.

Предмет исследования – взаимосвязь расхода топлива, типа сошников, скоростных режимов работы посевного агрегата, качества посева со влажностью почвы.

Научная гипотеза заключается в том, что энергетическая эффективность посева зерновых культур зависит от уровня влажности почвы и может быть повышена за счёт рационального выбора типа сошников и скоростных режимов работы посевного агрегата.

Научная новизна и теоретическая значимость:

– зависимости для определения тягового сопротивления анкерного и лапового сошников с учётом уровня влажности почвы;

– усовершенствованная математическая модель посевного агрегата, позволяющая определять расход топлива тракторного двигателя в зависимости от уровня влажности почвы, выбранного типа сошника и рабочей скорости движения;

– аналитические зависимости расхода топлива тракторного двигателя от уровня влажности почвы, выбранного типа сошника и рабочей скорости движения посевного агрегата;

Практическая значимость:

– способ посева зерновых культур и сошник для бороздкового посева семян, позволяющие обеспечить семена необходимой для их развития влагой, новизна защищена патентом РФ на изобретение;

– рекомендации производству позволяющие снизить расход топлива и соблюдать агротехнические требования при посеве за счет рационального выбора типов сошников и режимов работы посевных агрегатов в условиях различного уровня влажности почвы.

Методология и методы исследования базировались на требованиях действующих государственных стандартов ГОСТ 30745-2001 «Тракторы сельскохозяйственные. Определение тяговых показателей.», ГОСТ 31345-2007 «Сеялки тракторные. Методы испытания.» и ГОСТ 24026-80 «Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения».

Полученные экспериментальные данные обрабатывались при помощи математических и статистических методов с применением пакетов современных прикладных программ Microsoft Office, STATISTICA и MATLAB.

Положения, выносимые на защиту

– зависимости тягового сопротивления анкерного и лапового сошников от уровня влажности почвы;

– усовершенствованная математическая модель посевного агрегата, позволяющая определять расход топлива тракторного двигателя в зависимости от уровня влажности почвы, выбранного типа сошника и рабочей скорости движения;

– результаты теоретических и экспериментальных исследований по определению часового расхода топлива тракторного двигателя посевного агрегата при работе в условиях различной влажности почвы.

Достоверность исследований подтверждается:

– корректностью применения математического аппарата при моделировании посевного агрегата;

– применением стандартных и разработанных автором частных методик проведения исследований с использованием поверенных приборов и оборудования;

– применением современных вычислительных средств статистической обработки и согласованностью результатов теоретических расчётов с экспериментальными данными;

Реализация результатов исследований. Результаты выполненной диссертационной работы внедрены в хозяйстве ООО КХ «Партнер» и на предприятии ООО «Агроцентр», а также используются в учебном процессе кафедры «Сельскохозяйственная техника и технологии» Алтайского государственного аграрного университета, что подтверждается соответствующими актами.

Результаты исследований могут быть использованы в сельскохозяйственном машиностроении при создании новых или модернизации уже существующих посевных машин.

Апробация результатов исследований. Результаты диссертационной работы обсуждались и докладывались на заседаниях кафедры сельскохозяйственной техники и технологий и ученом совете Инженерного факультета Алтайского ГАУ (2018 - 2021 гг.); на региональной научно-практической конференции «Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования» в Новосибирском ГАУ (Новосибирск, 2016 г.); на II этапе Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых Минсельхоза России в Красноярском ГАУ (Красноярск, 2015, 2016, 2018 г.); на III этапе Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых Минсельхоза России в РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева (Москва, 2016 г.), на VII-ой научно-практической конференции с международным участием «Чтения И.П. Терских» (г. Иркутск 2017 г.), молодёжной инновационной конференции «Навигатор инноватора» ИЦ «СКОЛКОВО» (г. Москва, 2017 г.), на заседании научно-технического совета МСХ Иркутской области (г. Иркутск, 2017 г.), на 7-ой Международной научно-практической конференции «Информационные технологии, системы и приборы в АПК» – АГРОИНФО – 2018 СибФТИ СФНЦА РАН (п.

Краснообск, Новосибирская область, 2018 г.), VII-ой Международной научно-практической конференции «Климат, экология, Сельское хозяйство Евразии» (г. Иркутск, 2019 г.).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 13 печатных работ, 5 публикаций из перечня ВАК, 1 публикация из международных баз данных, 7 публикаций в других изданиях. Получен патент РФ на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, библиографического списка, включающего 196 наименований, из них 17 на иностранных языках, и 5 приложений. Общий объем составляет 148 страниц машинописного текста, который включает 10 таблиц и 57 рисунков.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

На сегодняшний день технологии и технические средства для производства сельскохозяйственной продукции стремительно развиваются, все большее распространение получают многооперационные посевные и почвообрабатывающие агрегаты с возможностью использования цифровых технологий, а также полностью отсутствует шаблонность при их применении. Производители осуществляют выбор машин и технологий с учетом региональных природно-климатических и агроландшафтных особенностей, под конкретные условия и задачи с возможностью достижения максимальной эффективности производства.

1.1 Технологии возделывания зерновых культур и особенности условий Алтайского края

Технология возделывания сельскохозяйственных культур – это комплексный прием, направленный на создание благоприятных условий для роста и развития растений. Этот технологический комплекс включает в себя технологию от подготовки земли предшественника до уборки урожая. Он включает в себя основную обработку почвы и предпосевную обработку почвы, внесение удобрений, подготовку семян к посеву, посев, уход за посевами и защиту растений от сорняков и вредителей, а также сбор урожая. Сегодня наиболее распространенными методами возделывания зерновых являются традиционная, минимальная и нулевая обработка почвы. Поэтому нами был проведен анализ каждой из них.

Традиционная технология возделывания сельскохозяйственных культур предполагает ежегодную или периодическую вспашку почвы с оборотом пласта, многократные проходы сельскохозяйственной техники по полю.

Это вызывает уплотнение почвы, разрушение ее механической структуры, уменьшение плодородного слоя в результате водной и воздушной эрозии, нарастание отрицательного баланса гумуса, фосфора и калия в почве, неэффективное использования минеральных удобрений, пестицидов и биологических препаратов, но самое главное - нарушает природные экосистемы и загрязняет среду обитания человека, флоры и фауны.

Минимальные технологии, основаны на снижение энергетических затрат при обработке почвы с помощью нового поколения сельскохозяйственных машин и агрегатов. Способствуют снижению механического воздействия на почву, позволяют восстановить плодородие пахотных земель, значительно снизить или полностью исключить ветровую, водную или совместное действие обеих видов эрозии почвы,

Традиционные технологии возделывания сельскохозяйственных культур предполагают ежегодную или регулярную обработку почвы, чередование слоев и многократное прохождение сельскохозяйственной техники.

Это приводит к сжатию почвы, механическому обрушению, сокращению плодородных слоев из-за водной и воздушной эрозии, гумуса в почве, увеличению отрицательного баланса фосфора и калия, минеральных удобрений, пестицидов, биопрепаратов. Неэффективное использование и, что наиболее важно, вызывает обрушение природных экосистем, загрязнения населенных пунктов, флоры и фауны.

Минимальные технологии – это использование сельскохозяйственной техники и агрегатов нового поколения для снижения энергозатрат при вспашке почвы. Это помогает снизить механическое воздействие на почву, уменьшить глубину обрабатываемого слоя почвы, снизить количество обработок. Это восстанавливает плодородие возделываемых земель, снижает или полностью устраняет эрозию почвы из-за ветра, воды или того и другого, увеличивает урожай зерна на 10-20%, экономит трудовые затраты в 3 раза, снижает расход топлива в 2,5 раза на гектар посевной площади [23, 26].

Нулевая технология возделывания - предусматривает прямой посев семян в почву.

Авторы технологии нулевой обработки почвы считают, что при традиционной методике, основанной на ежегодной обработке почвы, 80% урожая зависит от природы. Нулевые технологии могут снизить влияние погоды и климата на эффективность растениеводства до 20%. Остальные 80% - это система, сочетающая технологии и управление в сельском хозяйстве [146, 147].

Следует отметить, что осуществление нулевой технологии, особенно в сибирских условиях, сопровождается обострением следующих проблем:

- увеличивается засоренность посевов, активизируются вредители и болезни;

- повышается потребность в дополнительном числе обработок посевов пестицидами;

- возрастает потребность всех культур севооборота в азотных удобрениях.

Поэтому для применения нулевой технологии или прямого посева требуется высокая культура земледелия, соответствующие технологическое оснащение и применение интенсивных агротехнологий (именно интенсивные технологии позволяют уменьшить кратность и глубину обработок почвы). Для осуществления интенсивных обработок требуется использование высококлассных семян пластичных сортов сибирской селекции, а также применение на 1 га не менее 40-60 кг д.в. удобрений, на 50-60% площади посевов - гербицидов, на 5-10% - инсектицидов и фунгицидов. Для сравнения - в настоящее время на 1 га пашни в Сибири применяется в среднем 4 кг д.в. [111].

Технология прямого посева предполагает не только отказ от любой обработки почвы, но и от чистого пара, обязательное накопление на поверхности поля растительных остатков (постоянное покрытие почвы растениями или пожнивными остатками, создание на поверхности органической «подушки»), что позволяет сохранять влагу и противостоять эрозии почв. Важнейшее условие успешного применения этой технологии – плодосменные севообороты. В условиях засушливых районов Сибири отказ от парового поля пока невозможен. И в чистом классическом понимании нулевая технология здесь невозможна. Для сибирских условий эта технология должна быть модернизирована, адаптирована и усовершенствована. Сравнительная оценка технологий приведена в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Сравнительная оценка технологий обработки почвы

Преимущества технологий обработки почвы		
Традиционная	Минимальная	Нулевая
1. Механическая борьба с сорняками 2. Возможен посев без пожнивных остатков.	1. Рыхлая структура почвы. 2. Хорошая или отличная заделка семян.	1. Нет эрозии. 2. Восстанавливается плодородие почвы. 3. Сохраняется влажность почвы. 4. Минимальное использование техники 5. Экономия ресурсов. 6. Повышение урожайности 7. Снижение сельскохозяйственных рисков.
Недостатки технологий обработки почвы		
1. Самая большая эрозия почвы. 2. Самая большая потеря воды. 3. Возделываемая почва быстро впитывает влагу и так же быстро ее теряет. 4. Из-за большой потери воды время посева сокращается. 5. Высокие затраты на топливо и рабочую силу. 6. Другая дополнительная работа по выравниванию почвы: боронование и культивация.	1. Возникновение эрозии. 2. Потеря почвенной влаги. 3. Засорение полей корнями растений. 4. Образование плужной подошвы.	1. Гербицидная нагрузка. 2. Почва согревается медленнее. 3. Необходимость распределения растительных остатков по полю равномерно.

Агроклиматические условия возделывания сельскохозяйственных культур в Алтайском крае по зонам края существенно различаются. Алтайский край включает, в основном, 3 укрупненных агроклиматических зоны: Северная лесостепь, Центральная лесостепь и Южная лесостепь, степь.

К зоне Северной лесостепи (зона 1) относится Западно-Кулундинская зона, Центральной лесостепи (зона 2) - Восточно-Кулундинская зона, Приобская, Приалейская, Южной лесостепи, степи (зона 3) - Бийско-Чумышская, Присалаирская, Приалтайская, Алтайская зоны.

Деградация почвы в Алтайском крае имеет два основных очага поражения. Это эрозия в восточных и южных предгорьях и горных районах, характеризующихся пересеченной местностью и обильными осадками, и дефляция на западных равнинах, где механический состав почвы легкий и подвержен сильным ветрам [110].

Водная эрозия приводит к потере наиболее плодородных частей почвы со многими вредными явлениями, такими как потеря ливневой и дождевой воды, уменьшение накопления воды в почве и фрагментация поля.

В результате эрозии из почвы теряется гумус, уменьшается толщина гумусового слоя и содержание гумуса во всей почве, снижается плодородие всей почвы [110].

Важная роль в решении этих задач - внедрение всех технологических элементов в направлении ресурсосбережения с учетом последних достижений науки и практики, основанных на отечественном и международном опыте.

Одной из особенностей перехода на технологии прямого посева является грамотное техническое перевооружение хозяйств. Ежегодно в крае приобретается новой сельскохозяйственной техники на 5-6 млрд. руб. Причем анализ показывает, что наблюдается тенденция в сторону машин для технологий прямого посева. Теперь основными орудиями для земледельца становятся посевные машины, работающие по стерне и опрыскиватели.

На сегодняшний день в Алтайском крае при возделывании культур по технологиям прямого посева применяется техника ведущих отечественных и мировых производителей: «Агроцентр», «Агро», «Агромастер», «Amazone», «JohnDeere»,

«Salford», «SeedHawk», «Morris», «Horsch» и др. Данные сеялки оснащаются дисковыми сошниками с турбо дисками или колтерами, лаповыми и анкерными (долотовидными) сошниками [26].

В Алтайском крае имеется целый ряд примеров эффективного освоения технологий прямого посева. В числе первых хозяйств, успешно внедривших прямой посев, ООО КХ «Партнер» (Михайловский район), СПК «Знамя Родины» (Поспелихинский район), ООО «Вирт» (Целинный район), ОАО «Агрофирма «Май» (Романовский район), КФХ Васильцова В.А. Мамонтовского р-на, КФХ Долгова Е.А. Ребрихинского р-на и др. [29, 31].

Поэтому в последние годы в Алтайском крае была проведена важная подготовка к повышению эффективности производства зерна за счет технического и технического переоснащения хозяйств с определенной целью. Формирование научной и производственной базы для внедрения новых машин и технологий, которая позволит в будущем поднять сельскохозяйственный сектор на совершенно новый высокотехнологичный уровень [183].

1.2 Сеялки для работы в условиях ресурсосберегающих технологий

Современная посевная техника должна отвечать следующим основным требованиям:

- универсальность - машинам необходимо выполнять несколько операций в разное время.

- экономичность - желательно, чтобы техника потребляла как можно меньше топлива на единицу работы, имела высокий коэффициент полезного действия и потребляла меньше металла на единицу мощности.

- высокая производительность - необходимо обеспечить высокую производительность на единицу рабочего времени, не беспокоя обслуживающий персонал.

-взаимосвязь отдельных машин - машины должны соответствовать мощности, размерам, рабочей ширине, размещению рабочего инструмента, тяговому усилию, сопротивлению и т.д.

- эксплуатационная надежность.

- комфортное рабочее место оператора [146, 147].

Поэтому в настоящее время наблюдается тенденция перехода на комбинированные почвообрабатывающие посевные машины.

Наибольший интерес к комбинированным машинам начал проявляться с 70-х годов. К этому времени уже был накоплен опыт их применения за рубежом и частично в нашей стране. Сельскохозяйственные предприятия были достаточно хорошо оснащены однооперационными машинами. Однако, тракторный парк пополнился новыми энергооснащенными тракторами с мощными гидросистемами. Все это создало предпосылки для интенсивного конструирования комбинированных многофункциональных почвообрабатывающих и почвообрабатывающе-посевных комплексов.

Этому же способствовало нарастающее разнообразие и номенклатура малоэкономичных однооперационных машин, отрицательно воздействующих на почву.

К настоящему времени, отечественными и зарубежными инженерами и учёными разработано большое количество комбинированных агрегатов, выполняющих основную и предпосевную обработку почвы без посева или совмещенную с посевом.

Обработка почвы, измельчение, обработка почвы, уплотнение, внесение удобрений, лущение, скашивание, выравнивание, прополка и т.д. зчастую совмещаются с посевом. Таким образом, можно использовать почвообрабатывающий агрегат и сеялку комбинируя по-отдельности. Кроме того, каждая машина в составе комбинированного агрегата полностью соответствует агротетехническим требованиям, которые постоянно изменяются и повышаются. Поэтому спрос на культиваторные сеялки постоянно растет. Особое значение имеют качество культивации, компактность, плавность хода при воздействии большого количества пожнивных остатков, надежная конструкция, простота подключения и отключения, удобство транспортировки, обслуживание и эксплуатация.

Используемые в настоящее время сеялки различаются как по техническому исполнению, так и по способу посева. Основными способами посева зерновых являются: рядовой, узкорядный, перекрестный, подпочвенно-разбросной полосной.

При рядовом способе посева семена высевают рядами с наиболее распространенными междурядьями 15 см.

При посеве узкорядным способом сошник высевает семена в два узких ряда, и ширина междурядий составляет 7-8 см.

При перекрестном способе посева семена высеваются рядовым способом, одну половину семян высевают рядами в одном направлении, а вторую в перпендикулярном, с шириной междурядий 12-15 см при этом норму высева снижают в два раза. При этом способе семена более равномерно распределяются по площади питания.

При подпочвенно-разбросном полосном способе посева с помощью рассекателя, находящегося на лаповом сошнике, семена полосой распределяются по всей площади подлапного пространства с шириной междурядий порядка 30 см.

Сегодня, на рынке сельскохозяйственной техники преобладают новейшие сеялки и посевные комплексы. Сельхозпроизводители в результате сложных экономических условий стремятся покупать сеялки и комплексы разных производителей отечественного и зарубежного производства, чтобы снизить производственные затраты. Во многих случаях эти машины не соответствуют особенностям местного сельскохозяйственного ландшафта.

Например, поставляемый в регионы посевной комплекс Agrator DK-5400 M фирмы «Агромастер» (Рис. 1.1) имеет ряд существенных недостатков:

- при посеве яровых культур по стерневому фону данный посевной комплекс имеет высокое тяговое сопротивление, особенно при ранних сроках посева.

- дискование почвы перед посевом яровых культур дисковыми рабочими органами, установленными на комплексе, приводит к заделке семян сорной растительности, вследствие чего по нашим данным засоренность полей увеличивается в 4-4,5 раза.

Поэтому, эффективное применение данного посевного комплекса возможно только в конкретных условиях хозяйств, применяющих технологии комбинированной обработки почвы с посевом.

Рисунок 1.1 – Посевной комплекс Agromaster Agrator DK-5400 M

Как известно, в настоящее время существует большое количество сеялок и посевных комплексов, производимых различными компаниями.

Рассмотрим особенности конструкции типового посевного комплекса, предназначенного для работы в условиях ресурсосберегающих технологий, на примере производимого канадской компанией Bourgault (Рис. 1.2).

Рисунок 1.2 – Общий вид посевного комплекса Bourgault 8910 вместе с бункером серии 6000

Отличительной особенностью данного посевного комплекса, как и аналогичных, является возможность выполнять за один проход сразу несколько технологических операций, таких как подрезание сорных растений и вычесывание их при помощи штригельных (пружинных) борон, подготовка семенного ложа за счет давления стрельчатой лапы на дно борозды, закрытие почвенной влаги. Как следствие проводится разрушение боронами комков, выравнивание поверхности поля, посев семян культурных растений, внесение удобрений, и заделка семян и удобрений в почву при помощи уплотняющих катков.

Данные сеялки могут комплектоваться как анкерными, лаповыми, так и дисковыми сошниками. В случае с дисковым сошником (Рис. 1.3), при повышенной влажности нижняя часть семяпровода забивается растительными остатками и почвой, на прикатывающий каток также налипает почва и остатки растений, и технологический процесс нарушается.

Рисунок 1.3 – Дисковый сошник Bourgault 3820 Paralink

Предел работы лапового сошника по влажности немногим больше, чем у диска, только в таком случае стрельчатая лапа не полностью нарушает технологический процесс при забивании почвой и растительными остатками, а лишь возрастает тяговое сопротивление агрегата, как следствие расход топлива. В плане агротехники снижается равномерность распределения семян по глубине из-за большого количества комьев на поле, посевы получаются рваными, междурядья отличаются друг от друга.

Как и дисковый сошник некоторые сошники анкерного типа Bourgault (Рис 1.4) имеют опорное копирующее колесо, за счет которого лучше выдерживается глубина посева, но в условиях повышенной влажности данные сошники также становятся не такими эффективными, хоть и испытывают меньшее сопротивление, но на прикатывающие колеса налипает почва и растительные остатки, вследствие чего, ухудшается равномерность распределения семян по глубине, ухудшается заделка, возрастают энергозатраты на посев.

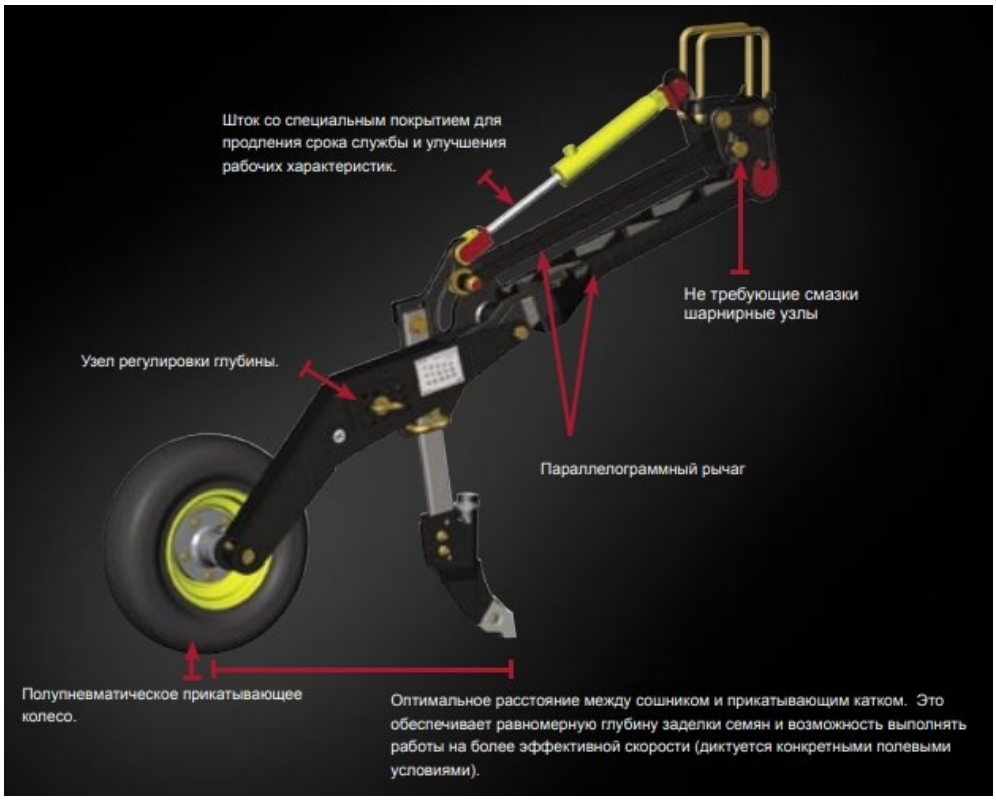

Рисунок 1.4 – Анкерный сошник Bourgault 3320 SE Paralink

Посевные комплексы Bourgault 8910, оборудованы сошниками на классической подпружиненной стойке с системой быстрой смены рабочих органов Speed-Loc. Это позволяет при повышенной влажности почвы, не нарушая технологического процесса сменить рабочий орган на более эффективный по ранее описанным признакам и не останавливать посев.

Данная система (Рис. 1.5) работает следующим образом, на стойку сошника устанавливается устройство для смены рабочих органов.

Рисунок 1.5 – Адаптер для смены сошников BourgaultSpeed-Loc

При небольшом усилии, специальном инструменте и с небольшими затратами времени на стойку устанавливается тот или иной тип рабочего органа (Рис. 1.6, 1.7).

Рисунок 1.6 – Сменный лаповый сошник Bourgault 8910

Рисунок 1.7 – Сменный анкерный сошник Bourgault 8910

Также для работы в ранние сроки данные комплексы оснащаются тандемными балансирными колесами (Рис. 1.8), размещенными внутри рамы, которые обеспечивают лучшее копирование, их ось несколько смещена в сторону задних колес, что предотвращает заглубление передних колес и застревание во влажной почве. Минимальное расстояние между колесами во внутренней части рамы и передними опорными самоориентирующимися обеспечивает лучшую проходимость и устойчивую глубину хода сошников по глубине, в условиях неровности ландшафта.

Рисунок 1.8 – Тандемные балансирные колеса комплекса Bourgault 8910

Поскольку данные сошники не имеют опорных колес, во избежание налипания они устанавливаются посредством стойки на раму, имеют явное преимущество при работе во влажной почве, но всё же, как и любой агрегат данные комплексы имеют транспортные колеса, но особенностью одной из комплектаций комплекса является наличие колес высокой проходимости, которые отличаются от обычных (на рисунке слева), большей высотой протектора Bourgault HF (Рис. 1.9), что также является одним из преимуществ при работе ранней весной.

Рисунок 1.9 – Варианты колес, устанавливаемых на посевной комплекс Bourgault 8910

Что касается заделывающих рабочих органов, таких как бороны или катки, данной опцией комплексы оснащаются по желанию заказчика, в условиях повышенного увлажнения целесообразнее устанавливать только батарею пружинных борон, без прикатывающих катков (Рис. 1.10).

Рисунок 1.10 – Пружинные бороны посевного комплекса Bourgault 8910

Таким образом, в ходе анализа, установлено, что для работы в условиях различного увлажнения почв посевные комплексы необходимо оборудовать не только сменными рабочими органами, а также составлять правильную комбинацию с заделывающими органами и колесной базой агрегата.

1.3 Сошники сеялок и процессы их взаимодействия с почвой

Поскольку исследования по данной тематике проводилась в Алтайском крае, в таблице 1.2 представлена информация по наличию посевных машин в данном регионе.

По информации министерства сельского хозяйства Алтайского края, можно сказать, что регион является передовым среди регионов Сибири, по количеству приобретаемой техники, данный факт подтверждается степенью развитости отрасли в целом, как в плане широкого набора возделываемых сельскохозяйственных культур, так и общей площади пашни.

Из данных таблицы 1.3 видно, что большее количество посевных агрегатов формируется при использовании классических сеялок вне зависимости от типа рабочего органа, данных машин в крае имеется 10000 шт. – зерновых, 1050 шт. – точного высева. Распространенность зарубежных посевных комплексов отражается в их наличие в количестве 906 шт., в то время как, российского производства всего 309 шт.

Таблица 1.2

Наличие посевных машин в Алтайском крае

Посевные машины	Количество, %.
Сеялки	
Зерновые	90,5
Точного высева	9,5
Посевные комплексы	
Отечественные	25,4
Импортные	74,6

Примечание: таблица составлена на основании данных МСХ Алтайского края.

При первом рассмотрении данной информации, возникает вопрос, по какой причине в столь развитом аграрном регионе, при наличии 5 млн. га посевных площадей, посевных комплексов меньше, чем сеялок. Дело в том, что посевные комплексы, имеющие рабочую ширину захвата, достигающую порой 30 метров, имеют большую производительность и обрабатывают за посевную значительно большую площадь, нежели наиболее распространенные сеялки шириной захвата 2,1 и 3,6 метров. Поэтому, чтобы сформировать посевной агрегат аналогичный посевному комплексу Кузбасс, шириной захвата 12,2 метров, необходима сцепка из 6 шт. сеялок СКП 2,1, шириной захвата 2,1 м.

На основании данных многолетней научно-исследовательской работы кафедры «Сельскохозяйственная техника и технологии» Алтайского ГАУ география которой охватывает весь Алтайский край и насчитывает порядка 30 фермерских хозяйств, а также данных Министерства сельского хозяйства края, справедливо отметить, что основная масса хозяйств применяет посевные комплексы различных фирм, оборудованные различными рабочими органами, в т.ч. дисковыми 17%, лаповыми 49%, анкерными (долотовидными) 34% [35].

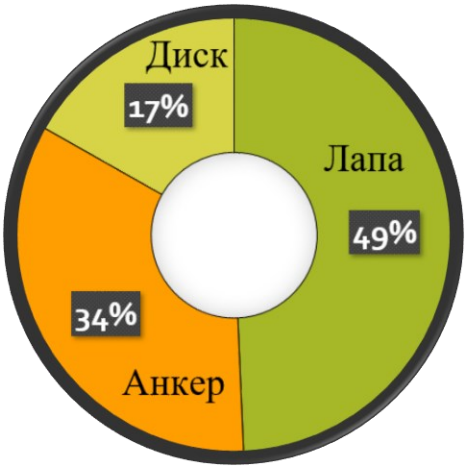

Рисунок 1.11 – Диаграмма наличия посевных машин по типу рабочего органа в Алтайском крае

Дисковый сошник (Рис. 1.12) представляет собой заостренный левый и правый диски, наклоненные друг к другу под углом 10 градусов. Диски сходятся во фронтальной части сошника и образуют заостренную кромку. Когда они касаются почвы и получают вращение – разрезают грунт и образуют бороздку. Семена и удобрения падают в бороздку через отверстие семяпровода и частично прикрываются почвой, которая осыпается с боков борозды. Для полной заделки семян, такие сеялки комплектуются цепным шлейфом, либо индивидуально прикатывающим катком, в зависимости от особенностей конструкции орудия. (Рис. 1.13) [128, 129].

Рисунок 1.12 – Дисковый сошник

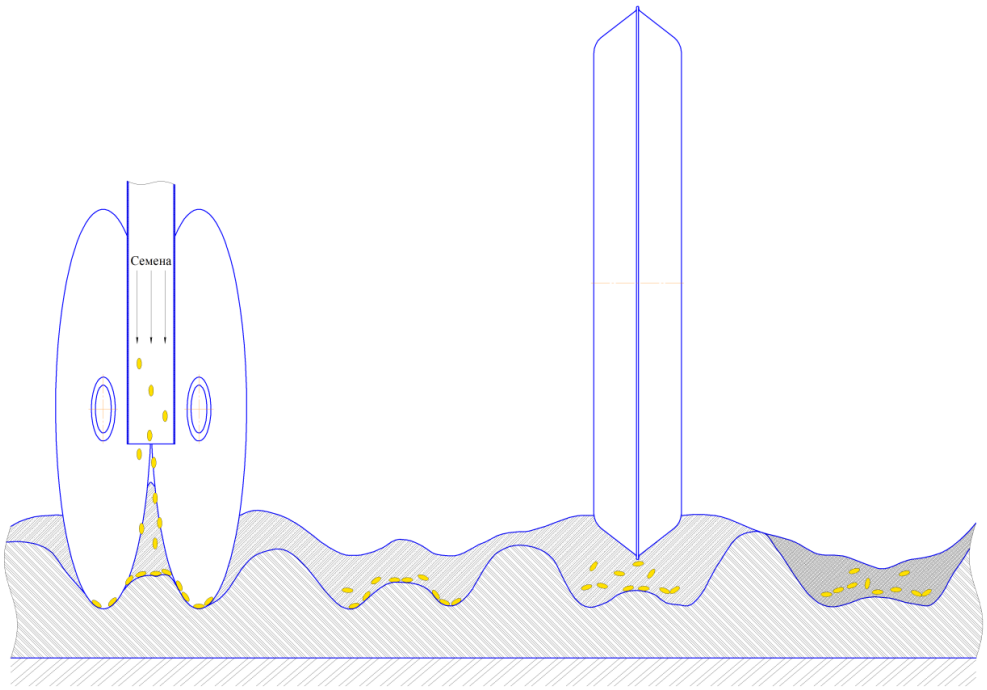

Рисунок 1.13 – Формирование бороздки дисковым сошником

Лаповый сошник (рис. 1.14) состоит из стрельчатой лапы, которая в процессе работы рыхлит почву, подрезает сорняки и уплотняет семенное ложе. Семенной материал и удобрения поступают на дно борозды через семяпровод. Такого типа сошники реализуют подпочвенно-разбросной или полосной способ сева (Рис. 1.15), для этого к стойке прикрепляется рассекатель потока семян и удобрений, который распределяет их широкой полосой под почвой [128, 129].

Рисунок 1.14 – Лаповый сошник

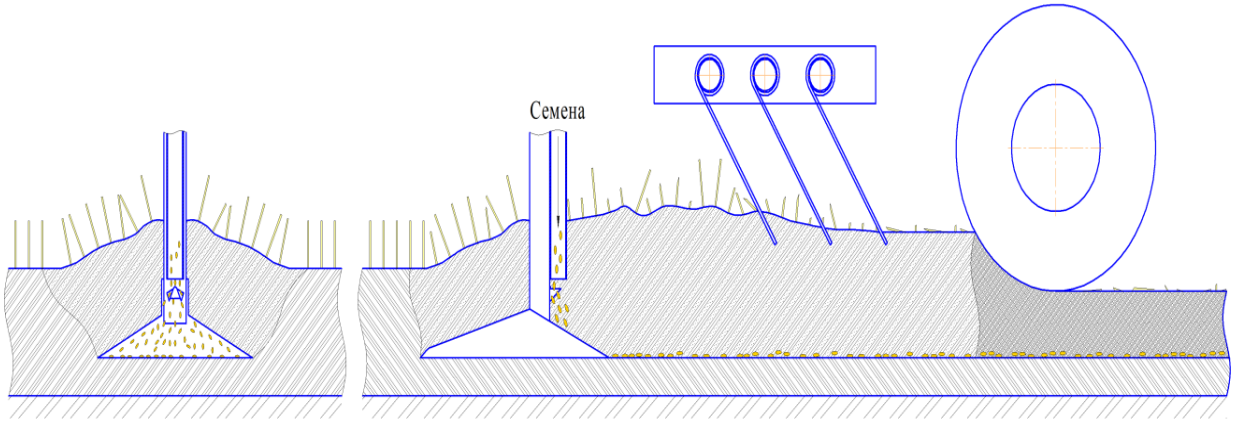

Рисунок 1.15 – Формирование бороздки лаповым сошником

Анкерный сошник (Рис. 1.16), обычно состоит из наконечника прямоугольной или треугольной формы и отличается тупым углом входа в почву. Погружаясь на заданную глубину данный сошник вытесняет почву, открывая борозду. При этом, нижняя часть сошника уплотняет семенное ложе. А почва, вытесненная им, распределяется по сторонам, частично засыпая борозду. В качестве заделывающих органов таких сошников могут быть штригельные (пружинные) бороны и индивидуальные катки различной формы, которые создают контакт семян с почвой (Рис. 1.17) [128, 129].

Рисунок 1.16 – Анкерный сошник

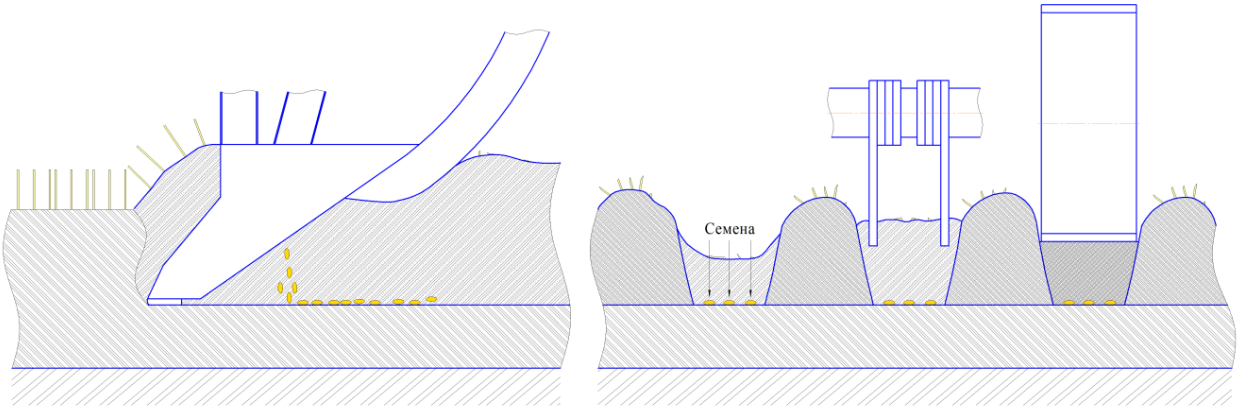

Рисунок 1.17 – Формирование бороздки анкерным сошником

Из проведенного анализа видно, что при работе в такой достаточно агрессивной среде как почва, происходит множество операций и в целом все сводится к тому, что при взаимодействии посевной машины с почвой рабочие органы воспринимают периодически не постоянные нагрузки со стороны почвы, которые напрямую зависят от фона, по которому производится посев, влажности почвы и технической готовности посевного агрегата к весенне-полевым работам [128, 129].

Высокий урожай зерновых культур можно получить, только путем обеспечения оптимальных условий для их произрастания. Глубина заделки семян в почву является одним из этих условий. От него напрямую зависят дружные всходы семян, а в итоге и урожайность культуры. Поэтому данный фактор является важнейшим при возделывании зерновых

Высокие урожаи можно получить, обеспечив оптимальные условия выращивания. Глубина посева - одно из них. Это напрямую влияет на всхожесть семян и, в конечном итоге, на урожайность сельскохозяйственных культур. Поэтому этот фактор имеет первостепенное значение при выращивании зерновых. [59].

По многолетним данным разных исследователей по всей стране, считается, что наиболее распространённой глубиной заделки семян для регионов Сибири и Дальнего Востока является глубина от 5 до 6 сантиметров.

Чтобы отследить влияние типа сошника на глубину заделки, мы провели исследования, представленные в виде гистограмм ниже [41, 54, 129, 130].

При посеве сеялкой СЗП 3.6 А (Рис. 1.18) видно, что семена распределялись в диапазоне от 2-7 см. На заданную глубину было посеяно 65% семян.

При посеве лаповыми сошниками ПК Concord (Рис. 1.19) и его отечественного аналога ПК Кузбасс (Рис. 1.20) видно, что семена, посеянные ПК Concord распределились в диапазоне от 1-7 см. На заданную глубину было посеяно 56,5% семян. Семена, посеянные ПК Кузбасс распределились в диапазоне от 3-12 см. На заданную глубину был посеян 41% семян. Такой широкий диапазон распределения семян в случае с ПК Кузбасс получился, по причине того, что посев проводился в ранние сроки, и влажность почвы составляла более 22%.

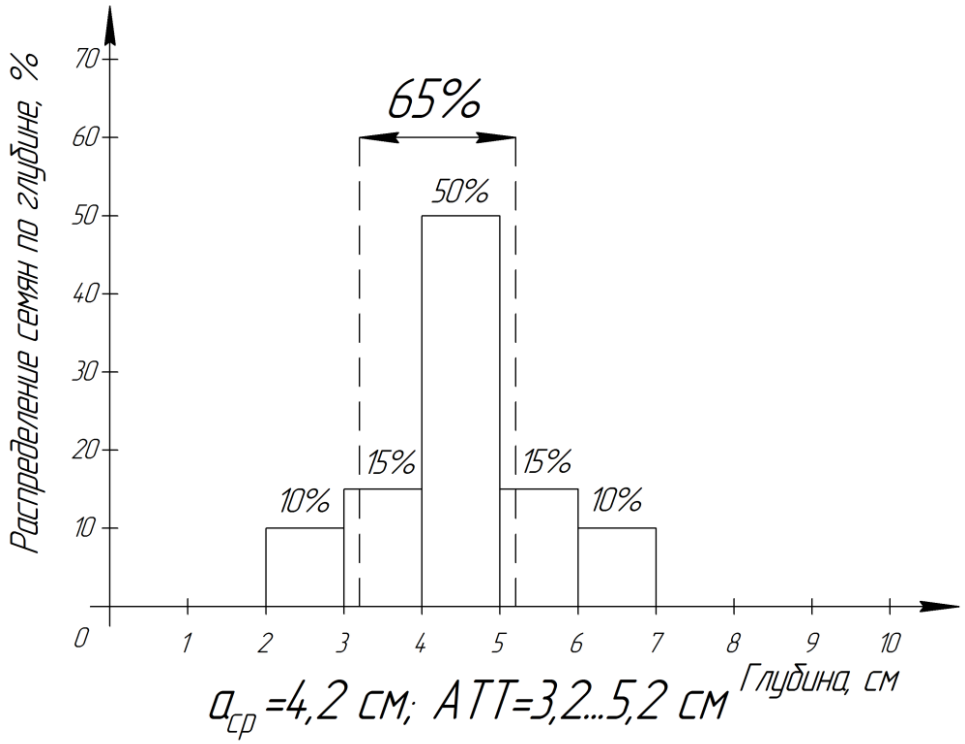

Рисунок 1.18 – Распределения семян по глубине посеянных сеялкой СЗП 3.6А после обработки дискатором

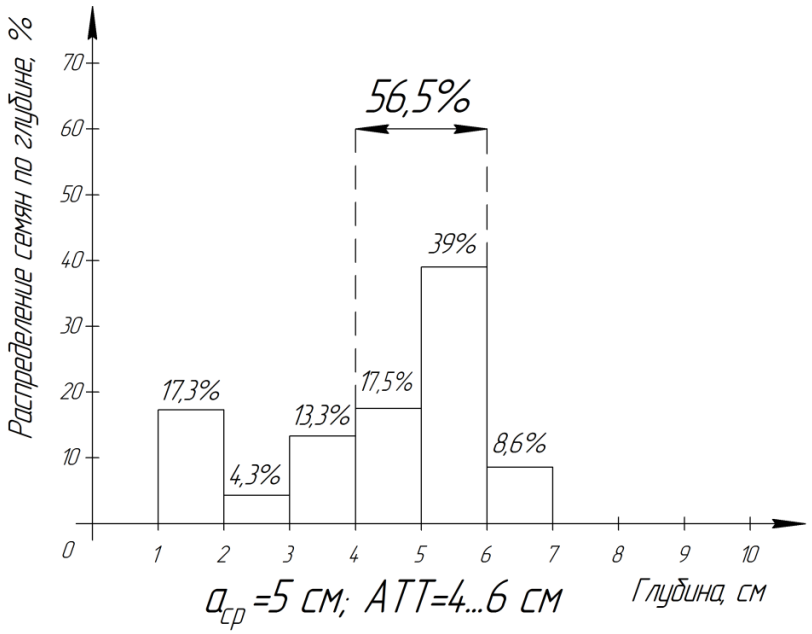

Рисунок 1.19 – Распределения семян по глубине, посеянных ПК Concord по стерне

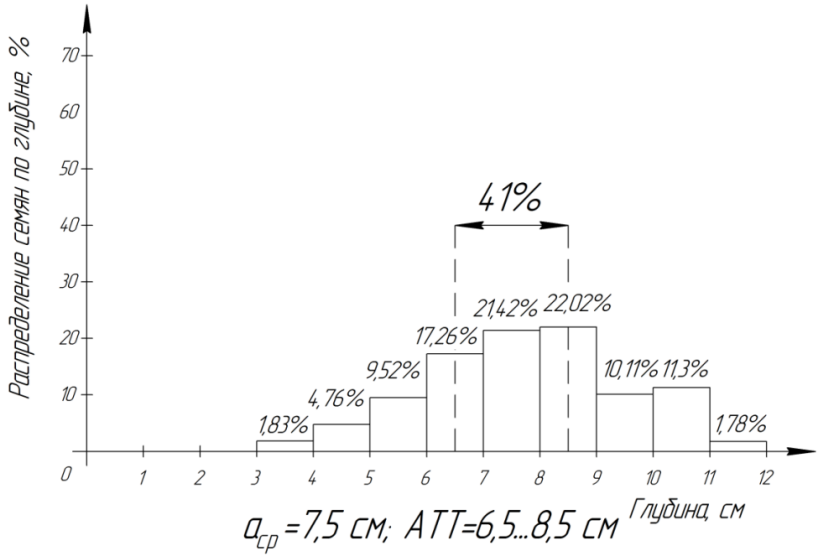

Рисунок 1.20 – Распределения семян по глубине, посеянных ПК Кузбасс по стерне

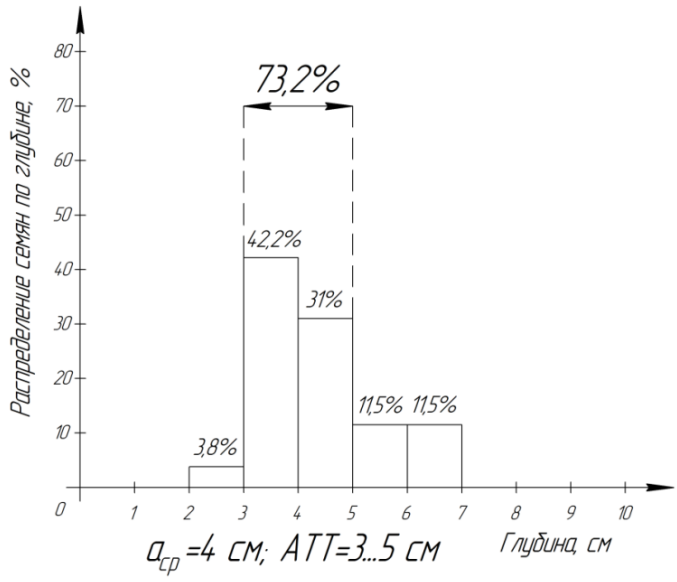

Рисунок 1.21 – Распределения семян по глубине, посеянных ПК John Deere по стерне

Из гистограммы распределения семян по глубине, посеянных ПК JohnDeere с анкерным сошником (Рис. 1.21) видно, что семена распределились в диапазоне от 2-7 см. На заданную глубину было посеяно 73,2% семян.

Наиболее приемлемую глубину заделки обеспечил анкерный сошник 73,2% (Рис. 1.21), следом идет лаповый, заделывая лишь 56,5% (Рис. 1.19) семян на заданную глубину. Двухдисковый сошник справился с заделкой семян на 65% (Рис. 1.18). А на основании опыта с ПК Кузбасс (Рис. 1.20) можно предположить, что при ранних сроках посева, когда почва переувлажнена, рациональнее использовать анкерный сошник. Благодаря особенностям своей конструкции он испытывает меньшее сопротивление, что является несомненным преимуществом при работе во влажной почве. В то время как лаповый подвергается сильному сопротивлению и налипанию, чему свидетельствует недопустимая на поле гребнистость и глыбистость (Рис. 1.22).

Рисунок 1.22 – Результаты посева лаповым сошником в условиях повышенной влажности почвы

Это результат того, что, встречая сильное сопротивление, со стороны почвы, срабатывал предохранительный механизм и стойка отклонялась назад.

Поэтому, глубина заделки семян была обеспечена всего лишь на 41%. Следует отметить, что в условиях реальной эксплуатации посевные машины не могут обеспечить 100% заделку семян на заданную глубину в соответствии с агротехническими требованиям.

1.4 Анализ теоретических исследований по энергетической оценке МТА

При изучении процессов возделывания сельскохозяйственных культур, как и в любой другой отрасли сельскохозяйственного производства, невозможно создать совершенные почвообрабатывающие и посевные орудия без изучения физико-механических и технологических свойств почвы, в рамках данной работы одним из определяющих является влажность почвы.

Наличие влаги в почве, являющейся физиологически доступной для растений, является одним из основных условий их развития [146, 147].

Содержание почвенной влаги оказывает значительное влияние на происходящие в ней процессы [119].

Влага участвует в фотосинтезе, когда под влиянием солнечного света из углерода и воды образуются органические вещества в листьях растений. Играет роль растворителя питательных веществ. Является терморегулятором и предохранителем растений от перегрева. [137]

Помимо твердой и газообразной фаз вода в почве находится в третьей фазе. Даже в сухой почве, в определенном количестве присутствует влага. Она органически связана с поверхностными коллоидными плёнками частиц почвы, также связана очень тесно с поглощенными ионами и с определенной прочностью удерживается между почвенными частицами в ультра и микропорах, что называется капиллярной влагой. В течение непродолжительных отрезков времени она находится в макропромежутках между частицами и быстро стекает под действие собственной силы тяжести, что называется гравитационной влагой [137].

Связная вода удерживается на поверхности твердых частиц почвы силами межмолекулярного воздействия. Различают гигроскопическую, или прочно связанную также плёночную или рыхлосвязанную с твердыми частицами влагу [119].

Влага в почве оказывает значительное влияние на её физико-механические свойства. Изучению свойств почвенной влаги, закономерностей ее перемещения, роли в создании механических средств воздействия и протекании процессов деформаций

Влага в почве оказывает большое влияние на ее физико-механические свойства. Исследования водных свойств почв, закономерностей их движения, их механического воздействия и роли воды в формировании деформационных процессов уделялось большое внимание со стороны ученых из различных отраслей наук [119].

Влажность почвы оказывает существенное влияние на тяговое сопротивление МТА, расход топлива на выполнение технологического процесса и качество полевых работ.

Одной из основных проблем в земледелии является снижение энергозатрат при работе почвообрабатывающих орудий. Ключевым понятием в данном вопросе является тяговое сопротивление орудий.

Тяговое сопротивление сельскохозяйственных орудий обычно определяется специальными устройствами – динамометрами.

Форма рабочих органов почвообрабатывающих машин проектируется эмпирически, поскольку еще не разработаны методы проектирования по конкретным физико-механическим свойствам почвы и условиям деформации.

Данные методы являются не совершенными потому как достаточно непросто изучить данные характеристики и получить достоверные результаты из-за неоднородности структуры почвы и постоянной изменчивости её степени увлажнения.

Многие ученые, такие как М.А. Адуов, Л.Ф. Бабицкий, П.У. Бахтин, А.Х. Габаев, А.А. Гафаров, В.П. Горячкин, Е.В. Демчук, М.Б. Ероков, В.А. Желиговский, А.Н. Зеленин, А. Зелинский, С.А. Ивженко, И.С. Имамов, А.Н. Карпенко, А.А. Кем, Н.А. Качинский, Ю.К. Киртбая, С.Н. Кокошин, А.С. Кушнарёв, Н. П. Ларюшин, А.И. Любимов, Н.И. Любушко, Г.О. Мазаев, Н.К. Мазитов, Е.М. Михальцов, С.Г. Мударисов, В.И. Мяленко, Б.В. Нестерводский, И.П. Панов, Е.В. Припоров, Д.Н. Раднаев, Г.Н. Синеоков, В.Н. Трубников, И.М. Фархутдинов, Х.Х. Шайдуллин, М.К. Шайхов, Н.В. Щучкин, А.Т. Яковенко, Н.С. Яковлев, R.E. Blackshaw, Y. Chen, M.J. Dwyer, Q. Gao, K.N. Harker, A. Hasim, R.L. Kushwaha, G.P. Lafond, C. Linke, E. McKyes, M. Obermayr, A. Solhjou, K. Terzaghi и другие занимались данным вопросом, проводя исследования рабочих органов почвообрабатывающих орудий на почвах различных регионов [21, 56, 59, 65, 67, 68, 77, 79, 80, 83, 88, 120, 141, 155, 172, 185, 186, 187, 188, 189, 191, 194, 195, 196].

В результате их исследований было предложено большое количество типов конструкций и зависимостей, описывающих процесс работы почвообрабатывающих орудий.

Плуг достаточно продолжительное количество времени является одним из основополагающих орудий в земледелии. Для описания его тяговой силы, академиком В.П. Горячкиным была предложена известная формула [56, 57]:

$$P = fG + Kabn + \varepsilon abnv^2, \qquad (1.1)$$

где P – сила тяги (кг); f – коэффициент протаскивания; G – вес плуга; K – коэффициент деформации почвы на единицу площади, или действительное удельное сопротивление почвы (кг/см^2); ab – геометрические параметры пласта (см); v – скорость движения орудия (м/с); ε – коэффициент затраты энергии на отбрасывание пласта почвы в сторону (кг/см^{2}м^4); n – количество корпусов плуга.

Данная формула множество раз была проанализирована и переработана учениками и последователями В.П. Горячкина, общеизвестным фактом является и то, что все члены данной формулы можно очень плодотворно развивать, об этом говорил и сам В.П. Горячкин.

Известно, что почва является сложной саморегулирующейся системой и влажность почвы необходимо рассматривать при учёте её физико-механических свойств.

Н.В. Щучкин связывает данные свойства почвы с сопротивлением плуга и процессом вспашки следующей формулой [154]:

$$P = fG + mP_{\text{ср}}ab, \qquad (1.2)$$

где f – коэффициент трения почвы по металлу; G – вес плуга кг; m – переводной коэффициент равный отношению полезного среднего удельного сопротивления почвы и её средней величины твёрдости; $P_{\text{ср}}$ – средняя твёрдость почвы кг/см^2; ab – глубина и ширина пахоты соответственно см.

При помощи данной формулы можно вычислить тяговое сопротивление, для этого необходимо найти коэффициент трения почвы по металлу при помощи прибора Г.Н. Синеокова, а твёрдость при помощи прибора В.П. Горячкина.

Для подсчета сопротивления без проведения динамометрирования показатели твёрдости применяли согласно теоретическим положениям В.П. Щучкина и Н.А. Качинского [77, 78, 154, 155] о том, что твёрдость почвы является интегральной характеристикой всех её свойств, влияющих на сопротивление при пахоте.

Н.А. Качинский для определения удельного сопротивления почвы при пахоте предложил следующую формулу [78]:

$$P = P_1 + R_x(a - b). \quad (1.3)$$

Вычислив по вариационным рядам коэффициент регрессии R_x между твердостью b и удельным сопротивлением почвы P_1, сделал вывод, что только по значению твердости a, найденному в данный момент можно вычислять удельное сопротивление почвы.

В 1949 году вклад в развитие метода В.П. Горячкина внес Г.Н. Синеоков, дополнив его методами плоскостного и пространственного динамометрирования почвообрабатывающих машин. Выражение формулы В.П. Горячкина, по Г.Н. Синеокову выглядит следующим образом [141]:

$$P = \mu(G + R_z) + fR_y + R_x, \quad (1.4)$$

где R_y – горизонтальная составляющая, кН;

R_x – вертикальная составляющая, кН;

μ– коэффициент перекатывания колес плуга;

G – вес плуга, кН;

f – коэффициент трения почвы о сталь.

В 1961 г. В. В. Коцыгин внес в формулу В.П. Горячкина уточнения по скорости движения [88]:

$$P = fG + Kabn + \varepsilon abnv^2\left[1 + \frac{2\varepsilon}{p_0}\cdot\left(\frac{v}{2u}\right)^2\right], \quad (1.5)$$

где u – скорость распространения напряжений в почвенной среде, см/с;

p_0 – плотность почвы до деформации кг/см^3.

В 1954 г. П.У. Бахтин установил зависимость удельного сопротивления и влажности почвы (Рис. 1.23), в упрощенной форме параболы и имеет следующий вид [21]:

$$P = a + bW + cW^2, \quad (1.6)$$

где *a, b, c* – коэффициенты;

W – влажность почвы, %.

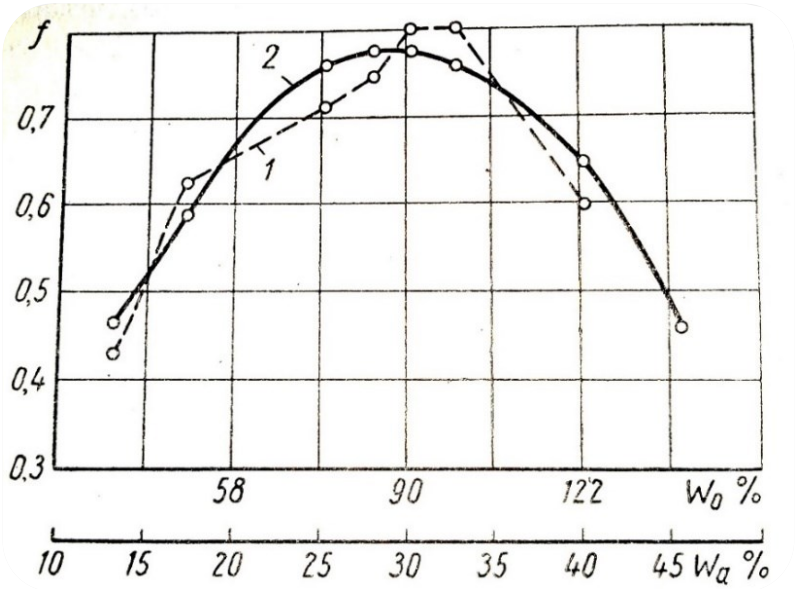

Рисунок 1.23 – Изменение коэффициента трения f почвы с изменением влажности почвы:1 – экспериментальная кривая; 2 – теоретическая кривая.

Б. В. Нестерводским была установлена и математически описана зависимость сопротивления почвы при вспашке от ее физико-механических свойств (абсолютной скважности в третьей степени и молекулярных сил сцепления частиц) и предложена следующая формула [120]:

$$P = abQn^3C, \qquad (1.7)$$

где ab – сечение обрабатываемого пласта почвы, см^2; Q – давление почвы на 1 см^2, кг/см^2; n – скважность почвы; C – коэффициент пропорциональности, отражающий влияние формы орудия и его скорости движения на силу тяги P.

Как видно из формулы, вполне логично утверждается, что сопротивление почвы функционально связано с обобщающей в себе физико-механические свойства абсолютной скважностью.

Ю.К. Киртбая в 1957 г. установил аналитическую зависимость удельного сопротивления почвы от её влажности [79]:

$$K = d - cW_n + bW_n^2 - aW, \qquad (1.8)$$

где W – абсолютная влажность почвы, %;

d, c, b, a – коэффициенты, постоянные для данной почвы.

При расчете тяговых сопротивлений рабочих органов зачастую учитывается коэффициент трения почвы о сталь – f. Данный коэффициент, изменяется при изменении влажности почвы, данные зависимости были получены П.У. Бахтиным в 1953 г. и имеют параболическую зависимость [21].

Также влияние влажности почвы на коэффициент трения почвы отмечается многими известными исследователями, такими как В.П. Горячкин, Н.В. Щучкин, А. Зелинский, А.Т. Яковенко, А.Н. Зеленин [56, 67, 68, 155, 161]

При увеличении влажности до какого-то определенного уровня, значение коэффициента возрастает, а по мере дальнейшего увлажнения снижается. Повышение коэффициента с увеличением влажности объясняется действием сил молекулярного притяжения частиц почвы к стали, когда возникает налипание, а снижение после перехода максимального уровня увлажнения, когда на поверхности появляется свободная вода и выполняет роль смазки.

Для определения силы трения пользуются известной формулой:

$$T = f \cdot N, \qquad (1.9)$$

где N – нормальная сила, кН.

В развитие данного вопроса свой вклад внес И.С. Имамов получив данную зависимость для работы дисковых агрегатов в диапазоне влажности почвы 1-33%, которая имеет следующий вид [65]:

$$f = 0{,}7395 - 3{,}1562 \cdot 10^{-2} \cdot W_{\text{отн}} + 6{,}6287 \cdot 10^{-4} \cdot W_{\text{отн}}^2, \qquad (1.10)$$

где $W_{\text{отн}}$ – относительная влажность почвы, %.

Для определения результирующей силы, действующей на дисковый сошник, обработанный фторопластом с учетом влажности почвы М.Б. Ероков, в 2000 г. получил следующую зависимость [65]:

$$R = 2R_1 + 2R_2 + 2T, \qquad (1.11)$$

где R_1 – сила сопротивления резанию, действующая на диск, кН;

R_2 – сила сопротивления сдвигу пласта почвы, кН;

Т – сила трения почвы, кН.

Значительный вклад в развитие эксплуатации машинно-тракторных агрегатов внесли такие авторы как Л.Е. Агеев, В.П Антипин, В.И. Беляев, Н.Н. Бережнов, Г.В. Веденяпин, Б.Г. Волков, Б.Д. Докин, М.Я. Дурманов, Н.И. Джабборов, С.А. Иофинов, Н.Ф. Карпов, Ю.К. Киртбая, В.Ф. Коновалов, В.С. Красовских, А.Б. Лурье, А.Х. Морозов, С.Г. Мударисов, В.П. Росляков, Н.И. Селиванов, В.В. Соколов, В.И. Фортуна, К.А. Хафизов, В.Д. Шеповалов и другие.

В свою очередь, анализ данных работ показывает, что вопрос энергооценки агрегатов по расходу топлива тракторного двигателя в условиях различного увлажнения почв, рассмотрен недостаточно полно, и суждения о данных зависимостях являются косвенно общепринятыми на основании только лишь смежных исследований в данной проблематике. [10, 20, 49, 66, 73, 75, 106]

При выполнении производственных операций в большинстве случаев применяют машинно-тракторные агрегаты (МТА), энергетической частью которых являются трактора. Также разновидностью данных агрегатов в последнее время являются машины выполняющие технологические операции и имеющие собственное шасси и моторную установку.

Машинно-тракторные агрегаты представляют собой сочетание машин с механическими или электрическими источниками энергии, передаваемой через передаточные механизмы для выполнения технологических операций [66].

Агрегаты могут классифицироваться на пахотные, почвообрабатывающие, посевные, почвообрабатывающе-посевные, уборочные и т.д. в зависимости от выполняемой технологической операции.

Говоря о почвообрабатывающих посевных агрегатах в современном производстве, продукции растениеводства следует выделить комплексные агрегаты. Такого рода агрегаты состоят из нескольких машин, последовательно выполняющих разные технологические операции (культивация, посев, внесение удобрений, боронование, прикатывание посевов).

Работа МТА возможна при соотношении рабочей скорости движения агрегата и воздействующих на него сил:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{X_k - \sum P}{m}, \quad (1.12)$$

где X_k – движущая агрегат сила, Н;

$\sum P$ – силы сопротивления движению, Н;

m – масса агрегата, кг.

Из данного уравнения мы видим, что $\frac{dV}{dt}$ функционально связана с массой агрегата. В свою очередь, нужно отметить, что масса агрегатов в процессе работы изменяется не так значительно, как сопротивления движению, например, при посеве или внесении жидких удобрений масса изменяется по мере опустошения бункера и резервуара соответственно.

Сумма сил сопротивления движению МТА может описываться следующим уравнением:

$$\sum P = P_f + P_a + P_W + P_j + R_m, \quad (1.13)$$

где P_f – сопротивление перекатыванию, кН;

P_a – сопротивление подъему, кН;

P_W – сопротивление воздуху, кН;

P_j – силы инерции, кН;

R_m – сопротивление орудий, кН.

Качество технологических операций в растениеводстве, выполняемых агрегатами, во многом зависит от скорости их движения. Скорость движения агрегатов необходимо выбирать исходя из агротехнических требований к конкретной выполняемой операции, поскольку снижение или увеличение в разных случаях может как снижать, так и повышать качество выполненных работ.

Рабочая скорость движения агрегата может выражаться в следующем виде:

$$V_р = V_т - V_\delta = V_т\,(1 - \delta), \quad (1.14)$$

где $V_т$ – теоретическая скорость движения агрегата, м/с;

V_δ – скорость, теряемая при буксовании, м/с.

При комплектовании МТА одним из наиболее значимых учитываемых факторов является тяговое усилие, которое может зависеть от конструктивных и эксплуатационных параметров агрегата, а также природно-климатических и агроландшафтных условий региона земледелия.

Как известно большое количество современных посевных агрегатов являются широкозахватными. В связи с этим тяговое усилие широкозахватных агрегатов может определяться следующим выражением [66]:

$$R_M = G_M \cdot (f_M(1-\rho) \pm i) + a \cdot m \cdot n_Л \cdot K_d, \qquad (1.15)$$

где G_M – вес орудия, кН;

f_M – коэффициент сопротивления машины перекатыванию;

ρ – коэффициент, учитывающий часть веса машины, нагружающей трактор;

i – отношение высоты подъема к основанию;

а – глубина обработки, м;

m – ширина обработки, м;

$n_Л$ – количество рабочих органов;

K_d – коэффициент сопротивления рабочего органа, кН/м^2.

При расчете состава агрегатов важнейшим этапом является расчет производительности МТА, которая в свою очередь зависит от параметров и режимов работы агрегата и является одним из основных показателей характеризующих работу агрегатов.

Производительность агрегата может быть фактической (действительной) и теоретической. Поскольку мы рассматриваем агрегаты для работы в условиях реальной эксплуатации, в нашем случае интерес представляет производительность действительная, поскольку она учитывает фактическую ширину захвата агрегата, буксование и время, затрачиваемое на непроизводственные операции (развороты, переезды, простои, холостой ход и т.д.). Фактическая производительность определяется из следующего выражения [66]:

$$W = 0{,}1 \cdot B_к \cdot \beta \cdot V_т \cdot \delta \cdot T_{см} \cdot \tau_{см}, \qquad (1.16)$$

где $B_к$ – конструктивная ширина захвата агрегата, м;

β – коэффициент использования конструктивной ширины захвата агрегата;

δ – коэффициент буксования;

$T_{см}$ – продолжительность работы, ч;

$\tau_{см}$ – коэффициент использования времени смены;

При выполнении технологических операций почвообрабатывающими и посевными агрегатами тракторный двигатель расходует определенное количество дизельного топлива, часть которого расходуется на самопередвежение, часть на агрегатирование орудия и часть на затраты энергии при выполнение агрегатом технологических процессов. Исходя из формулы (1.14), сменный расход топлива можно представить в следующем виде:

$$G_{см} = G_р \cdot T_р + G_х \cdot T_х + G_о \cdot T_о, \qquad (1.17)$$

тогда погектарный расход топлива представится как:

$$q = \frac{G_{см} \cdot K}{0{,}36 \cdot N_e \cdot \eta_т \cdot T_{см} \cdot \tau}. \qquad (1.18)$$

Из данного выражения следует, что при изменении удельного сопротивления почвы пропорционально будет изменяться погектарный расход топлива агрегата. Величина же К тесно связана с физико-механическими свойствами почвы, зависит её влажности, что подтверждается многочисленными исследованиями авторов [21, 52, 65]

При рассмотрении схем функционирования сельскохозяйственных агрегатов отмечалось, что данные агрегаты в совокупности с процессами представляют собой сложные динамические системы. Моделирование этих систем целесообразно строить по принципу «вход-выход». Такие схемы могут быть составлены практически для любого агрегата. Несмотря на то, что любая модель отличается от реальной системы, она обладает рядом преимуществ. Основным, из которых является возможность исследования поведения агрегата в областях, где отсутствуют экспериментальные данные. Также, в модели можно выделить главные характеристики системы, отбросив многие несущественные элементы [106].

Изменение внешних воздействий МТА при выполнении технологических операций обусловлены многочисленными факторами, такими как конструктивные, технологические и эксплуатационные. К данным факторам относятся: конфигурация местности; глубина обработки; техническое состояние рабочих органов и механизмов; физические свойства почвы и прочие. При этом сопротивление МТА носит вероятностный характер [10].

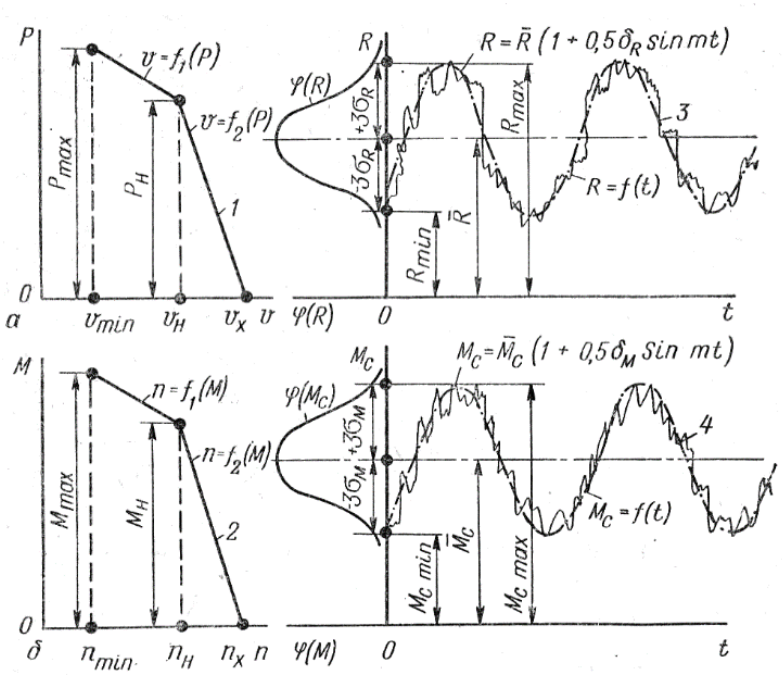

Рисунок 1.24 – Вероятностный характер тягового сопротивления агрегата (а) и момента сопротивления (б) на валу двигателя [72]:1, 2 – аппроксимированные характеристики трактора и двигателя; 3, 4 – зависимости тягового сопротивления и момента сопротивления от времени; δ_R, δ_M – степени неравномерности; m – частота колебаний нагрузки; t – время.

Колебания нагрузочного режима тракторов по тяговому усилию или крутящему моменту на валу двигателя обуславливаются случайным и непрерывным характером внешних воздействий [74].

В связи с этим следует рассматривать нагрузочный режим как вероятностный. В данном случае рассмотрен анализ тяговых сопротивлений и момента сопротивления на валу двигателя в вероятностном смысле [72, 73, 74, 105].

Внешние и внутренние воздействия в условиях эксплуатации агрегатов представляют собой случайные процессы и рассматриваются в виде случайных функций [73, 106].

Использование вероятностно-статистических методов математического моделирования процессов работы машинно-тракторных агрегатов на основании теории планирования экспериментов, позволяет сделать более удобным управление процессами и их прогнозирование [10].

При создании математических моделей и учёте множества факторов влияющих на работу машинно-тракторных агрегатов возникает сложная системная задача. В практике такие сложные системы встречаются реже в основном рассматриваются одномерные и двухмерные системы по принципу «вход-выход» [106].

Такие модели частично искажают реальную картину рабочего процесса, является относительно ненадежными и не всегда подходят для прогнозирования или определения выходных переменных [106].

1.5 Выводы, цель и задачи исследования

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. В агропромышленном комплексе Сибири существует множество проблем, связанных с рациональностью выбора и использования технических средств. Как правило, сельхозмашины создаются под определенные природно-климатические условия, чаще всего те, где локализовано производство. В следствие этого, поступая в другие регионы, техника может работать недостаточно качественно и эффективно.

2. По данным МСХ Алтайского края, в хозяйствах степной зоны наибольшее распространение получили анкерные и лаповые посевные машины, обеспечивающие реализацию ресурсосберегающих технологий, прежде всего прямого посева.

3. Ввиду высокого разнообразия агроклиматических условий региона, посевная выполняется в условиях широкого изменения увлажнения почв. При этом различные типы высевающих рабочих органов посевных машин и скоростные режимы

их работы дают существенно отличающееся качество посева и энергозатраты, что обуславливает различия в урожае культур и себестоимости производства зерна.

4. При высокой и низкой влажности почвы рабочие органы начинают испытывать повышенное тяговое сопротивление, почва и растительные остатки сгруживаются перед сошниками и забивают основные их части, формируют недопустимую глыбистость и гребнистость, нарушая агротехнические требования.

5. Анализ равномерности распределения семян по глубине заделки посевными комплексами показал, что John Deere 1870 с анкерными сошниками и ПК Кузбасс 12,2 с лаповыми сошниками обеспечивают требуемую заделку 73,2 % и 41,0 % семян соответственно. Т.е. преимущество анкерных сошников очень существенно.

6. Проблема энергооценки агрегатов по расходу топлива тракторного двигателя в условиях различного увлажнения почв изучена недостаточно полно и требует дифференцированного подхода. На наш взгляд, целесообразно использовать посевные агрегаты с возможностью комплектования сменными рабочими органами, применяя их с учетом уровня увлажнения почв.

При выборе типа рабочего органа являются актуальными исследования по определению тяговых усилий агрегатов и расхода топлива на посев, что в дальнейшем позволит осуществить рациональный выбор того или иного рабочего органа с точки зрения энергетики процесса в соответствии с конкретным уровнем увлажнения почвы, не нарушая агротехнических требований.

Поэтому, целью исследования является снижение энергетических затрат на выполнение посевных работ, за счет рационального выбора типа сошников и рабочих скоростей движения посевных агрегатов.

В соответствии с поставленной целью исследования, необходимо решить следующие задачи:

1. Обосновать взаимосвязь тягового сопротивления сошников и уровня влажности почвы.

2. Усовершенствовать математическую модель работы посевного агрегата в условиях различного уровня влажности почвы.

3. Обосновать рациональные параметры и режимы работы посевных агрегатов в условиях различного уровня влажности почвы, провести энергетическую и агротехническую оценку их работы.

4. Провести производственную проверку и оценить экономическую эффективность результатов исследования.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПОСЕВНЫХ АГРЕГАТОВ

На основании проведенного анализа установлено, что по-прежнему остаются актуальными вопросы как теоретических, так и практических исследований касающиеся изменения тяговых сопротивлений агрегатов и как следствие и их энергооценки при работе в условиях различной степени увлажнения почвы.

Суть теоретических исследований заключается в обосновании параметров уравнений тяговых сопротивлений рабочих органов при работе на почвах различного увлажнения, с учетом которых возможно снижение сопротивлений как отдельных рабочих органов, так и агрегатов в целом, а как следствие и расхода топлива. А также, в поиске возможностей нахождения менее трудозатратных методов определения тяговых сопротивлений, чем динамометрирование [21, 57, 66, 144].

2.1 Физико-механические свойства почвы, влияющие на её сопротивление

Естественное состояние почвы характеризуется составом общей массы, образованной минеральными и органическими частицами, воздухом и влагой. Исходя из этого с физической точки зрения почву можно рассмотреть, как сложную динамическую систему, обобщающую твердую, жидкую и газообразную фазы.

Исследуя ту или иную почвенную систему, мы определяем ее сложение по характерным признакам: наличие воздушных капилляров внутри отдельных частей структуры или в сплошной массе почвы, между структурными элементами или отдельностями. Критерием для характеристики сложения почвы служит размер пор почвы и их количество.

Обусловлено это тем, что всякий комплекс почвы можно рассматривать как систему механических и структурных элементов, соприкасающихся между собой не всей своей поверхностью, а частями или точками.

В связи с неправильностью форм, частиц почвы даже в момент соприкосновения между ними образуются поры. Возникшие таким путем поры обеспечивают присутствие в почве воды и воздуха. Величина скважности в почве бывает различ-

ной и зависит от химического и механического состава, структуры, влажности, степени развития пустот биологического происхождения, состояния покрова и способов обработки почвы.

Скважность – это обобщающий показатель всех вариантов изменения свойств почвы. Показатель скважности положен в основу закона Терцаги, одного из главных законов механики грунтов, гласящего, что относительное изменение объема пор грунта прямо пропорционально изменению давления [196].

Кроме того, почва как дисперсное тело стремится к уплотнению под влиянием внешних воздействий и собственного веса. Это свойство почвы -элементарный закон почвенного сложения, проявлению которого способствуют в определенных пределах давление и увлажнение почвы. Скважность служит показателем закона консолидации частиц почвы.

На основании изложенного Б. В. Нестерводским к исследованию была принята зависимость сопротивления почвы при вспашке от ее скважности (пористости) [120].

$$n = 1 - \frac{\gamma_{\text{в}}}{\gamma_y}, \qquad (2.1)$$

где n – абсолютная скважность; $\gamma_{\text{в}}$ – объемный вес влажной почвы, г/см^3;
γ_y – удельный вес твёрдой фазы, г/см^3.

В нашем случае, необходимо проследить зависимость пористости почвы от ее физико-механических свойств и их динамики, а конкретно от ее влажности.

Обозначая доли единичного объема почвы, занятые твердыми частицами, порами и водой соответственно через объемы сухого грунта - $V_{\text{т}}$, пор - $V_{\text{п}}$ и влажной почвы $V_{\text{в}}$ получим следующее выражения для рассматриваемой группы характеристик, откуда формула скважности будет выглядеть следующим образом [120]:

$$n = \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{т}} + V_{\text{в}}}. \qquad (2.2)$$

Величины $\gamma_{\text{т}}$, $\gamma_{\text{в}}$, $d_{\text{т}}$,$d_{\text{в}}$ для расчета могут быть определены непосредственно из опыта либо взяты из данных предыдущих исследователей по определенному

типу почвы и условиям увлажнения. Тогда для величин $V_т$, $V_п$, $V_в$, найдем уравнения:

$$V_т = \frac{\gamma_т}{d_т}; \quad (2.3)$$

$$V_п = 1 - \frac{\gamma_т}{d_т}; \quad (2.4)$$

$$V_в = \frac{\gamma_в - \gamma_т}{d_в}, \quad (2.5)$$

где $\gamma_т$ – объемный вес сухой почвы, г/см^3; $d_т$ – удельный вес твердых частиц, г/см^3; $d_в$ – удельный вес воды, г/см^3.

Используя эти выражения, для пористости - n, коэффициента пористости – ε и влажности почвы – W, % можем найти следующие зависимости:

$$n = 1 - \frac{\gamma_т}{d_т}; \quad (2.6)$$

$$\varepsilon = \frac{d_т}{\gamma_т} - 1; \quad (2.7)$$

$$W = \frac{\gamma_в}{\gamma_т} - 1. \quad (2.8)$$

Приведем еще некоторые соотношения, связывающие характеристики объема, веса и влажности почвы:

$$V_п = \frac{\varepsilon}{1+\varepsilon}; \quad (2.9)$$

$$V_т = \frac{1}{1+\varepsilon}; \quad (2.10)$$

$$n = \frac{\varepsilon}{1+\varepsilon}. \quad (2.11)$$

Отсюда мы можем выразить объемный вес сухого грунта

$$\gamma_т = \frac{d_т}{1+\varepsilon}. \quad (2.12)$$

А также и объемный вес влажного грунта с учетом нужной его влажности:

$$\gamma_в = \gamma_т \cdot (1 + W). \quad (2.13)$$

Следовательно, мы можем варьировать степень увлажнения почвы через объемный вес влажного грунта, а соответственно и значение пористости в зависимости от данного параметра.

Для наглядного представления данных научных результатов были получены зависимости объемного веса и влажности почвы на примере южного чернозёма, наиболее распространённого в Алтайском крае на глубине 0,05 – 0,15 м, фон стерня зерновых, а также проанализированы ранее полученные данные на почвах того же типа и той же глубине П.У. Бахтиным и сведены в графики (Рис. 2.1, 2.2).

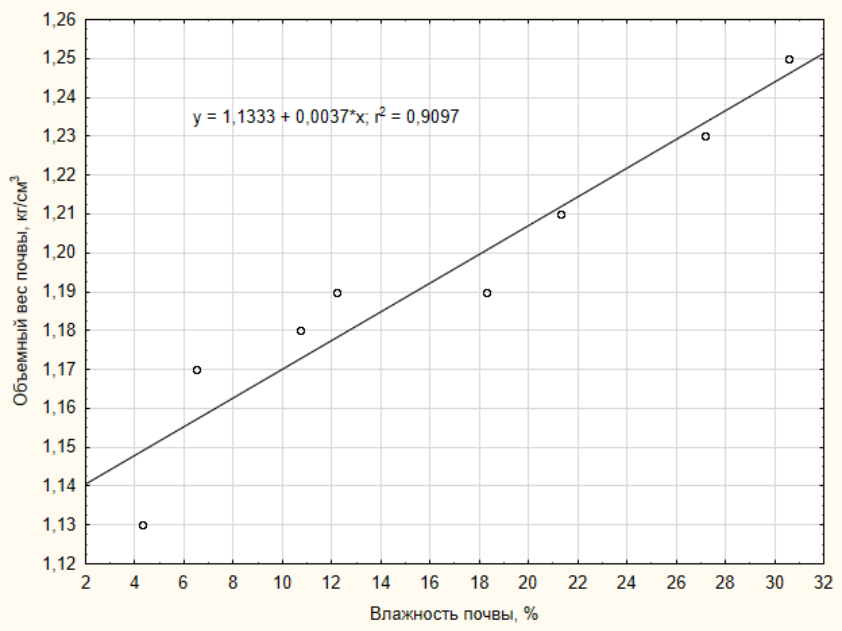

Рисунок 2.1 – Зависимость объёмного веса почвы от её влажности по данным П.У. Бахтина [22]

Из данной диаграммы рассеяния (Рис. 2.1) видно, что объемный вес почвы линейно возрастает с повышением уровня её влажности, чему свидетельствует направление линии регрессии.

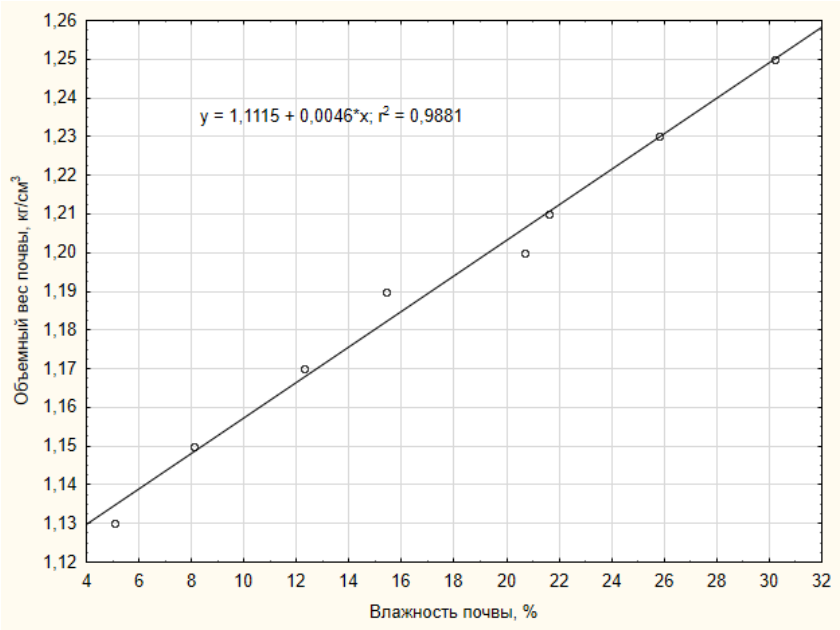

Рисунок 2.2 – Зависимость объёмного веса почвы от её влажности, полученная автором

Из данной диаграммы рассеяния (Рис. 2.2) видно, что объемный вес почвы также линейно возрастает с повышением уровня её влажности, как и в опытах П.У. Бахтина, чему также свидетельствует направление линии регрессии. В таком случае, можно сказать, что объемный вес почвы линейно возрастает с ростом её влажности.

2.2 Тяговое сопротивление сошников сеялок с учетом влажности почвы

Существенный вклад в развитие уравнения академика В. П. Горячкина внёс Г. Н. Синеоков. Метод линейного динамометрирования В.П. Горячкина был дополнен методами плоскостного и пространственного динамометрирования почвообрабатывающих машин. Данный метод позволяет получать значения не только продольных составляющих сил сопротивления почвы, также вертикальных и боковых. При помощи пространственного динамометрирования удалось отдельно определять сопротивления корпуса плуга и лемеха [140, 141].

Рабочие органы почвообрабатывающих машин являются разновидностями клина. По геометрической форме рабочей поверхности клинья подразделяют на плоские и криволинейные; по способу их установки по отношению к направлению

поступательного движения на прямые (лобовое резание) и косые (скользящее резание). Кроме того, клинья бывают симметричные (стрельчатые лапы культиваторов, окучивающие корпуса) и несимметричные (односторонние полольные лапы культиваторов, корпуса лемешных плугов).

Эти термины возникли в период применения почвообрабатывающих орудий конной тяги: корпус висячего конного плуга, имевший одну рабочую (лемешно-отвальную) и две опорных (полевая доска и «подошва» корпуса) поверхности, называли трехгранным, а однозубовый рыхлитель, снабженный пяткой — двугранным клином. В настоящее время уравновешивание почвообрабатывающих машин в вертикальной и горизонтальной плоскостях обеспечивается другими способами (опорными колесами машин, силовым воздействием механизма навески трактора и др.) поэтому большинство рабочих органов имеет теперь лишь рабочую и не имеет опорных граней (поверхностей), однако, следуя традиции, будем пользоваться терминами двугранный и трехгранный клин.

В соответствие с вышесказанным, на основании методов плоскостного и пространственного динамометрирования, рассматривая анкерный и лаповый сошники как разновидности клина, в данном разделе обосновываются теоретические зависимости, позволяющие определять тяговое сопротивление анкерных и лаповых сошников при работе на различных уровнях влажности почвы, с учетом особенностей их геометрических параметров.

2.2.1 Тяговое сопротивление анкерного сошника

Тяговое сопротивление определялось при помощи методов плоскостного и пространственного динамометрирования почвообрабатывающих машин, разработанных Г.Н. Синеоковым. В соответствии с этим, продольная слагающая сила тяги анкерного и лапового сошников P_x равна [141]:

$$P_x = R_{зx} + R_{кx} + R_{Gx} + R_{Fx}, \qquad (2.14)$$

Отсюда уравнение силы сопротивления почвы сжатию затылком затупившегося лезвия будет иметь следующий вид:

$$R_з = 0{,}5\gamma_в bh^2 n^3 (tg\varphi \cdot ctg\varepsilon_3 + 1), \qquad (2.15)$$

где q – коэффициент объемного смятия почвы, кН/м^3;

h - толщина слоя почвы, снимаемого затылком лезвия, м;

b – длина лезвия, м;

φ – угол трения почвы о сталь;

ε_3 – задний угол резания.

Поскольку максимальное значение горизонтальной составляющей силы R_{3x} давления почвы на затылок лезвия будет равно (рис. 2.3):

$$p = qh. \qquad (2.16)$$

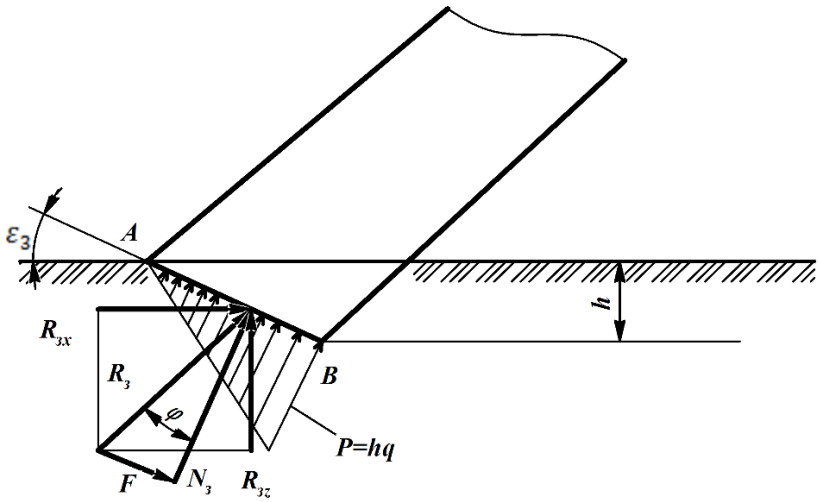

Рисунок 2.3 – Схема определения давлений почвы на затылок лезвия.

Согласно установленной Б. В. Нестерводским зависимости сопротивления почвы при вспашке от ее физико-механических свойств была предложена следующая формула [120]:

$$P = abQn^3C, \qquad (2.17)$$

где ab – сечение обрабатываемого пласта почвы, м^2;

Q – давление почвы на 1 см^{2}равное произведению глубины обработки на объемный вес влажной почвы естественного сложения $a\gamma_в$ обозначающее давление столба

почвы на квадратный сантиметр, кН/см^2. Показатель – а в таком случае есть количество кубических сантиметров в столбе почвы, сечение которого равно 1 см^2. Следовательно выражение $a\gamma_в$ было представлено в виде:

$$Q = h\gamma_в, \qquad (2.18)$$

Величина Q есть внешняя по отношению к нижележащему слою почвы уплотняющая его сила. Под действием которой почвенные частицы смещаются до тех пор, пока не установится равновесие между внешними и внутренними силами. Это обусловливается противодействием молекулярных сил сцепления частиц почвы внешним силам;

n – скважность почвы, обобщающая влияния на силу P физико-механических свойств почвы, определяемая зависимостью (2.1);

C – коэффициент пропорциональности, отражающий влияние деформирующего почву рабочего органа и рабочей скорости на силу Р.

Используемый до настоящего времени при подсчете R_{3x} горизонтальной составляющей силы давления почвы на затылок лезвия коэффициент q – объемного смятия почвы, является это отношение усилия, необходимого для вдавливания наконечника на определенную глубину определяющийся при помощи твердомера Ю.Ю. Ревякина:

$$q = \frac{P}{hS}, \qquad (2.19)$$

где P – усилие необходимое для вдавливания, кН;

h – глубина вдавливания; м

S – площадь пуансона, м^2

В свою очередь сила, вдавливающая пуансон действует перпендикулярно движению сошника, который в свою очередь воспринимает нагрузку под углом φ, а не 90°, то объективнее будет учитывать объемный вес влажной почвы естественного сложения $\gamma_в$, что будет более точно учитывать силу, давящую на затылок лезвия.

Также опираясь на утверждения Б. В. Нестерводского о скважности, которая в вышеописанных формулах умножается на габариты и вес пласта, чем обобщает все физико-механические свойства почвы в себе, а в том числе и влажность, то после некоторых преобразований получим следующее выражение:

$$R_{3x} = 0{,}5h^2\gamma_{\text{в}}n^3b\ (tg\varphi \cdot ctg\varepsilon_3 + 1). \qquad (2.20)$$

Сила сопротивления почвы деформации описывается следующей зависимостью [141]:

$$R_{\text{к}x} = kab, \qquad (2.21)$$

где k – коэффициент удельного сопротивления почвы, кН/м^2;
ab – глубина и ширина обработки, м^2.

В данной зависимости. Коэффициент удельного сопротивления рекомендуем принимать полученный И.С. Имамовым, для почв в диапазоне влажности 1-33%, таким образом получится рассчитывать данную силу с учетом влажности почвы.

При рассмотрении усилий необходимых для преодоления статического и динамического давлений пласта Г.Н. Синеоковым и путем подстановки сил [141]:

$$G = abl\gamma_{\text{об}} \qquad (2.22)$$

где G – вес пласта, кН

и

$$F = \frac{2ab\gamma_{\text{об}}}{g}v^2 sin\frac{\beta}{2}, \qquad (2.23)$$

где F – статическое и динамическое давление сил сопротивления с учетом веса пласта, кН.

Уравнение результирующих элементарных нормальных давлений и сил трения на рабочей поверхности клина по оси абсцисс выглядит следующим образом [141]:

$$R_x = Gtg(\beta + \varphi) + Fcos\frac{\beta}{2}tg(\beta + \varphi). \qquad (2.24)$$

После некоторых преобразований и расчленения выражения (2.25) на составляющие статического и динамического давлений пласта, были получены выражения [141]:

$$R_{Gx} = abl\gamma_{об} tg(\beta + \varphi); \quad (2.25)$$

$$R_{Fx} = \frac{ab\gamma_{об}}{g} v^2 sin\beta tg\ (\beta + \varphi). \quad (2.26)$$

Но поскольку они не учитывают объемный вес влажной почвы и скважность, введем их в данные выражения:

$$R_{Gx} = abl\gamma_{в} n^3 tg(\beta + \varphi); \quad (2.27)$$

$$R_{Fx} = \frac{ab\gamma_{в} n^3}{g} v^2 sin\beta tg\ (\beta + \varphi). \quad (2.28)$$

где l – длина рабочей поверхности сошника, м;

v – скорость, с которой почва перемещается по поверхности клина, м/с;

β – угол крошения почвы, град;

Подставляя из уравнений (2.20), (2.21), (2.27) и (2.28) значения $R_{зx}$, $R_{кx}$, R_{Gx}, R_{Fx} в выражение (2.14), получим развернутую зависимость для определения тягового сопротивления анкерного сошника с учётом абсолютной скважности в третьей степени, а как следствие и влажности почвы.

2.2.2 Тяговое сопротивление лапового сошника

Тяговое сопротивление лапового сошника складывается по аналогичному выражению (2.14), как и для анкерного, только при анализе работы лапового сошника необходимо раздельно учитывать действие касательных и нормальных сил.

Сопротивление почвы сжатию затылком затупившегося лезвия $R_з$ для лапового сошника возможно найти согласно зависимости [141]:

$$R_з = \frac{qbh^2}{2\sin\varepsilon_з \cos\varphi \sin\gamma}. \quad (2.29)$$

Ключевое отличие данной зависимости от аналогичной для анкерного сошника, наличие в знаменателе множителя – $\sin\gamma$ который при одинаковой ширине захвата клиньев учитывает разность длины лапы и анкера.

При разложении силы $R_з$ на нормальную N_3 и касательную T_3 определяются проекции сил на оси координат. Угол, образуемый плоскостью ABD затылка лезвия клина с координатной плоскостью xOy, обозначается ε_3.

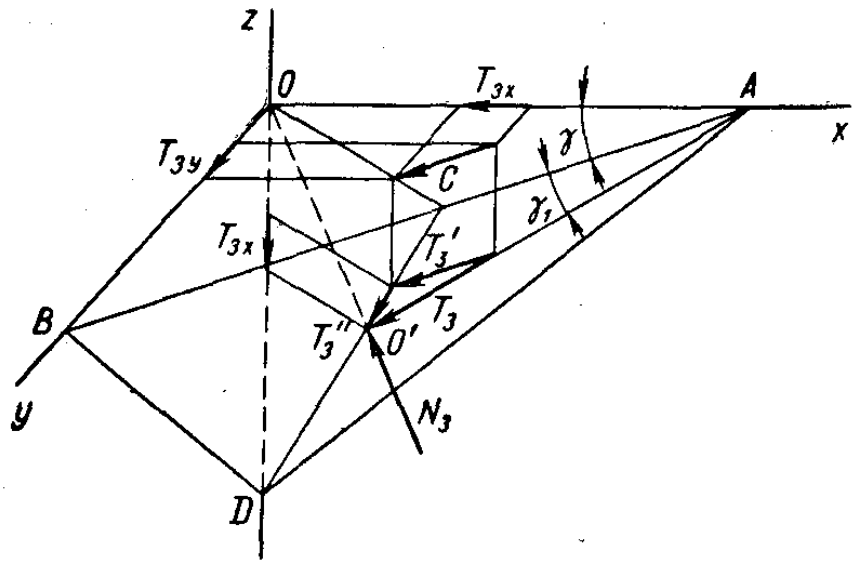

Рисунок 2.4 – Схема определения проекций на оси координат сил N_3 и T_3.

Г.Н. Синеоков, учитывая положения В. П. Горячкина, приводит суждение о том, что при сжатии почвы плоскостью затылка частицы почвы перемещаются по нормали к поверхности затылка, который является клином (Рис. 2.4) [141].

Учитывая, что угол $O'OD$ равен ε_3, для определения нормальной силы N_3 были составлены следующие зависимости [141].

$$N_{зx} = N_3 \sin\varepsilon_3 \sin\gamma\,; \tag{2.30}$$

$$N_{зy} = N_3 \sin\varepsilon_3 \cos\gamma; \tag{2.31}$$

$$N_{зz} = -N_3 \cos\varepsilon_{3.} \tag{2.32}$$

где γ – угол скоса лезвия.

Как известно, угол ε_3 равен 10-15°, поэтому угол γ_1 при обычных значениях угла $\gamma = 30 \div 45°$ отличается от последнего всего на 1°. Полагая в предыдущих зависимостях, что $\gamma_1 = \gamma$, получаем [141]:

$$T_{зx} = T_3\,(cos^2\gamma + \ sin^2\gamma\, cos\,\varepsilon_3); \tag{2.33}$$

$$T_{зy} = -T_3\, cos\,\gamma\, sin\,\gamma\,(1 - cos\,\varepsilon_3); \tag{2.34}$$

$$T_{зz} = T_3\, sin\,\gamma\, sin\,\varepsilon_3. \tag{2.35}$$

После замены в данных выражениях T_3 на fN_3 и использования зависимости (2.31), запишем выражение для определения проекций на оси координат сопротивления $R_з$ почвы на затылке лезвия лапового сошника [141]:

$$R_{зx} = N_3[sin\,\varepsilon_3\, sin\,\gamma + f(cos\,\varepsilon_3\, sin^2\gamma + cos^2\gamma)]; \tag{2.36}$$

$$R_{зy} = N_3\,[sin\,\varepsilon_3\, cos\,\gamma - f sin\gamma\, cos\,\gamma\,(1 - cos\,\varepsilon_3)]; \tag{2.37}$$

$$R_{зz} = -N_3\,(cos\,\varepsilon_3 - f sin\gamma\, sin\,\varepsilon_3), \tag{2.38}$$

где f – коэффициент трения почвы о сталь, учитывающий влажность почвы, рекомендуется выбирать в соответствии с зависимостью И.С. Имамова для диапазона влажности почвы 1-33%.

В соответствии с тем, что равнодействующая элементарных нормальных давлений почвы на затылке лезвия равна:

$$N_3 = \frac{qh^2b}{2\,sin\,\varepsilon_3} \tag{2.39}$$

Для того, чтобы учесть параметры скважности и давления почвы в данной зависимости, запишем её с добавлением в числитель скважности и объемного веса влажной почвы, после некоторых преобразований получим уравнение следующего вида:

$$N_3 = \frac{\gamma_в h^2 bn^3}{2\,sin\,\varepsilon_3} \tag{2.40}$$

Сила сопротивления почвы деформации – $R_{кx}$ описывается той же зависимостью (2.21) как и для анкерного сошника.

Уравнения статического R_{Gx} и динамического R_{Fx} давлений пласта для лапового сошника имеют следующий вид [141]:

$$R_{Gx} = abl\gamma_{об}\frac{\sin\beta + f\,(\cos\gamma + \sin\gamma\cos\beta)}{\cos\beta - f\sin\gamma\sin\beta}; \quad (2.41)$$

$$R_{Fx} = \frac{ab\gamma_{об}v^2\sin^2\gamma[\sin\beta + f\sin\gamma\,(ctg^2\gamma + \cos\beta)]}{g\,(ctg\beta - f\sin\gamma)}. \quad (2.42)$$

По аналогии с уравнениями составляющей статического (2.27) и динамического (2.28) давлений пласта для анкерного сошника, учтём объемный вес влажной почвы и скважность, и введем их в данные выражения:

$$R_{Gx} = abl\gamma_{в}n^3\frac{\sin\beta + f\,(\cos\gamma + \sin\gamma\cos\beta)}{\cos\beta - f\sin\gamma\sin\beta}, \quad (2.43)$$

$$R_{Fx} = \frac{ab\gamma_{в}n^3v^2\sin^2\gamma[\sin\beta + f\sin\gamma\,(ctg^2\gamma + \cos\beta)]}{g\,(ctg\beta - f\sin\gamma)}. \quad (2.44)$$

Подставляя из уравнений (2.21), (2.36-38), (2.43) и (2.44) значения $R_{зx}$, $R_{кx}$, R_{Gx}, R_{Fx} в выражение (2.14), получим развернутую зависимость для определения тягового сопротивления лапового сошника с учётом скважности и влажности почвы.

2.2.3 Тяговое сопротивление всей сеялки

Поскольку вышеописанные зависимости позволяют определять тяговое сопротивление только лишь рабочих органов по-отдельности, далее будет описан алгоритм определения сопротивления сеялки в целом.

Согласно конструктивно-технологической схемы сеялки, её полное тяговое сопротивление может складываться как:

$$P = P_n + P_c + P_k, \quad (2.45)$$

где P_n – сопротивление сеялки на перекатывание, кН;

P_c – тяговое сопротивление сошников, кН;

P_k – тяговое сопротивление прикатывающих катка, кН.

Сопротивление сеялки на перекатывание определяется:

$$P_n = G \cdot f, \quad (2.46)$$

где $G = m \cdot g$ – сила тяжести сеялки, кН;

f – коэффициент сопротивления движения почве.

Тяговое сопротивление одного сошника складывается из сопротивления рабочего органа и наральника и описывается следующей формулой:

$$P_{\text{сош}} = P_{\text{х}} + R_x, \tag{2.47}$$

где R_x – сопротивление стойки сошника, кН.

Суммарное сопротивление сошников сеялки определяется как:

$$P_c = P_{\text{сош}} \cdot n, \tag{2.48}$$

где $P_{\text{сош}}$ – сопротивление одного сошника, кН;

n – количество сошников.

В соответствии с теорией движения катка по поверхности почвы его сопротивление перекатыванию определяется по формуле Грандвуане-Горячкина [138]:

$$P_{\text{к}} = 0{,}86\sqrt[3]{\frac{G^4}{q \cdot b \cdot D^2}}, \tag{2.49}$$

где $G = m \cdot g$ – вес катка, кН;

b, D – ширина и диаметр катка, м;

q – объёмный коэффициент смятия почвы, кН/м^3.

В соответствии с данным алгоритмом были рассчитаны теоретические тяговые сопротивления посевных агрегатов с двумя типами рабочих органов анкерным и лаповым (Рис. 2.5, 2.6)

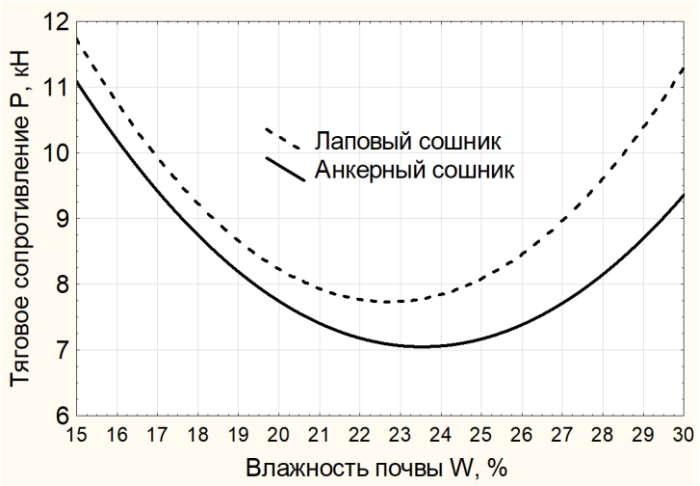

Рисунок 2.5 – Теоретическая зависимость тягового сопротивления сеялки СТС 2.1 и влажности почвы при скорости 8 км/ч

Расчетное тяговое сопротивление сеялки СТС 2.1 в зависимости от влажности почвы на скорости 8 км/ч (Рис. 2.5) изменяется в диапазоне 7-11,7 кН. Сопротивление лапового сошника снижается в диапазоне влажности почвы 15-22,7 % с 11,7 до 7,7 кН, после чего снова существенно увеличивается в диапазоне влажности 22,7-30% с 7,7 кН до 11,3 кН. Минимальное тяговое сопротивление сеялки с лаповым сошником получено при влажности 22,7% и составляет 7,7 кН. Сопротивление анкерного сошника снижается в диапазоне влажности почвы 15-23,6 % с 11,1 до 7 кН, а затем возрастает в диапазоне влажности 23,6-30% с 7 кН до 9,45 кН. Минимум тягового сопротивления сеялки с анкерным сошником составляет 7 кН и получен при влажности почвы 23,6%.

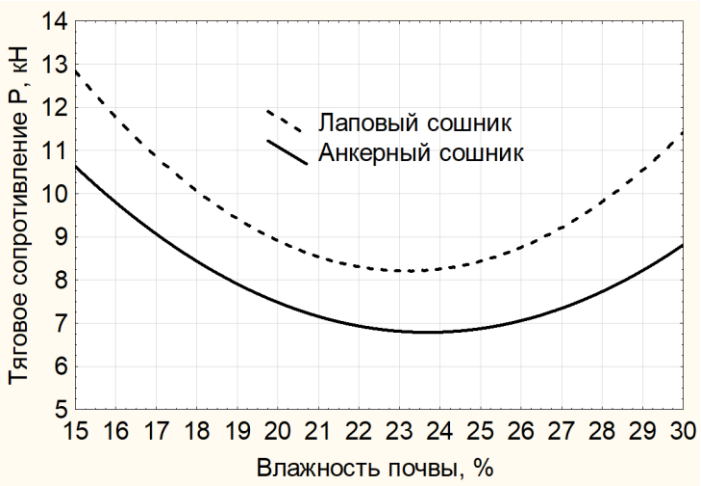

Рисунок 2.6 – Теоретическая зависимость тягового сопротивления сеялки СТС 2.1 и влажности почвы при скорости 10 км/ч

Расчетное тяговое сопротивление сеялки СТС 2.1 в зависимости от влажности почвы на скорости 10 км/ч (Рис. 2.6) изменяется в диапазоне 6,8-12,8 кН. Сопротивление лапового сошника снижается в диапазоне влажности почвы 15-23,3 % с 12,8 до 8,2 кН, а затем возрастает в диапазоне влажности 23,3-30% с 8,2 кН до 11,4 кН. Точка перегиба (минимального тягового сопротивления сеялки с лаповым сошником) получена при влажности 23,3 %, где сопротивление составляет 8,2 кН.

Сопротивление анкерного сошника также снижается в диапазоне влажности почвы 15-23,6 % с 10,6 до 6,8 кН, после чего возрастает в диапазоне влажности 23,6-30 % с 6,8 кН до 8,8 кН. Минимальное тяговое сопротивление сеялки с анкерным сошником составляет 6,8 кН при влажности почвы 23,6%.

Характер данных зависимостей подтверждается результатами исследований таких учёных как П.У. Бахтин, Ю.К. Киртбая, А.А. Иванченко, Н.И. Кленин (Рис. 2.7-2.9) [22, 79, 70, 82].

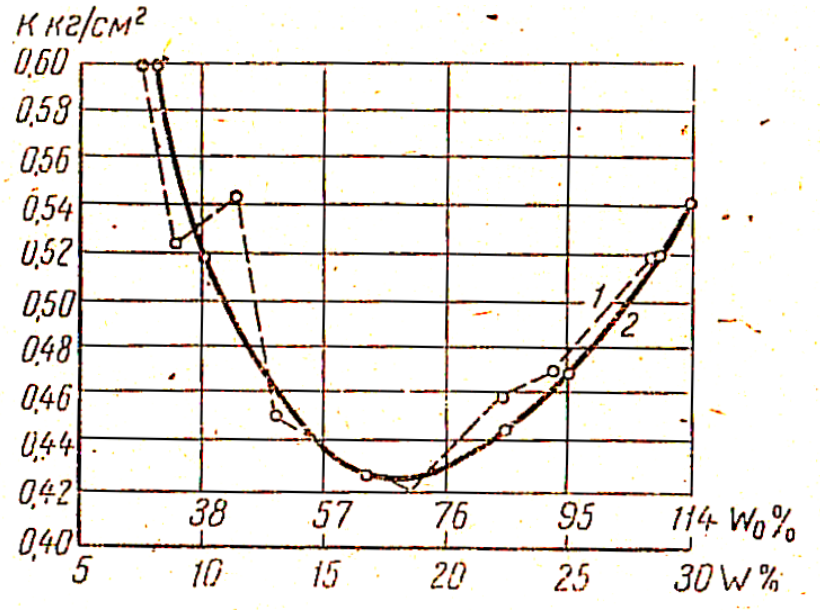

Рисунок 2.7 – Изменение удельного сопротивления дерново-подзолистой средне-суглинистой почвы в зависимости от влажности (стерня зерновых) по П.У. Бахтину:1 - фактические и 2 – расчетные данные [22]

На данном графике видно (Рис. 2.7), что характер зависимости сопротивления от влажности почвы полученный П.У. Бахтиным как расчётным путем, так и экспериментальным, схож с полученным нами данными теоретических исследований данного процесса. Сопротивление резко снижается, начиная с влажности почвы 7% до 17,5% - что является точкой наименьшего сопротивления и плавно возрастает с ростом влажности до 30 %.

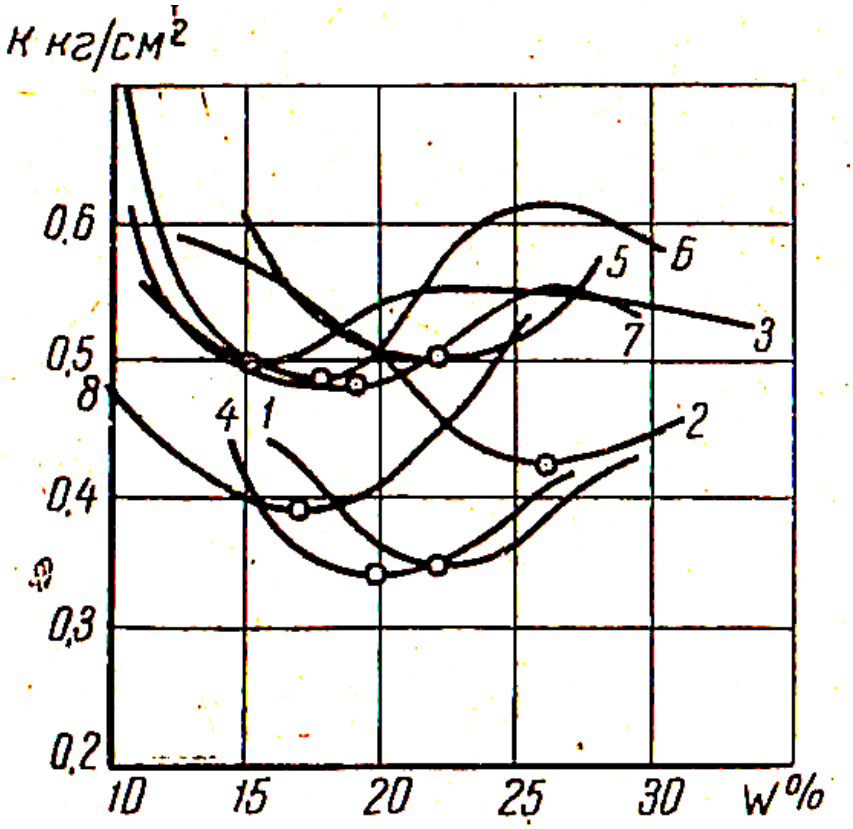

Рисунок 2.8 – Влияние влажности почвы на ее удельное сопротивление: 1 – чернозем глубокий среднесуглинистый; 2 – чернозем слабоосолоделый; 3 – то же, пар; 4 – чернозем оподзоленный легкосуглинистый (стерня); 5 – южный чернозем тяжелосуглинистый (стерня); 6 – солонцеватая почва; 7 –темно-каштановая суглинистая почва (пар) по Ю.К Киртбая [22, 79]

Данные зависимости влажности почвы и ее сопротивления, полученные Ю.К. Киртбая на разных типах почв также как наши исследования и исследования П.У. Бахтина, повторяют характер совместного изменения. На примере зависимости, полученной для южного чернозема - 5, который является тем же, что был принят в наших расчетах при подборе характеристик почвы, можно сказать, что сопротивление изменялось от наивысшего значения с 15 % влажности до точки наименьшего сопротивления находящейся при значении влажности 23 %, после чего плавно возрастало с ростом влажности почвы до 30 %. Характер данной зависимости наиболее близок к полученному нами характеру распределения значений сопротивлений.

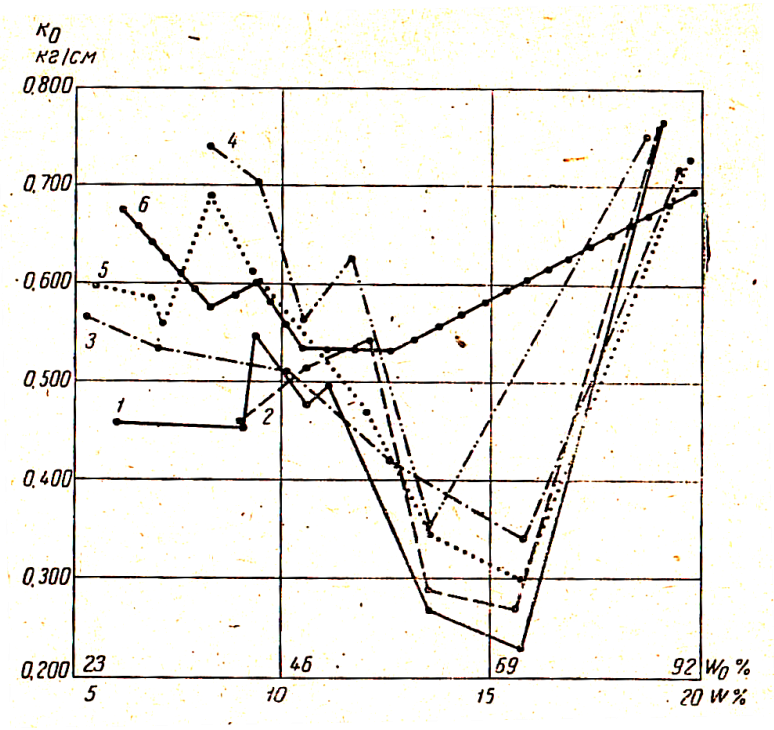

Рисунок 2.9 – Изменение полезного удельного сопротивления темно- каштановой среднесуглинистой почвы в зависимости от влажности при разных скоростях движения. Стерня озимого ячменя, посеянного после лущения. Херсонская область, 1961 г. Скорости вспашки (км/час):1 – 4, 2—5,7; 2 – 6,4 – 7,2; 3 – 8 – 8,9; 4 – 9,0; 5 – 9,8; 6 – 10,8 по П.У. Бахтину [22]

Также были проанализированы зависимости изменения сопротивлений от влажности при разных скоростях обработки. Были проанализированы кривые 3 и 5, полученные на соответственных нашим данным скоростях 8 и 10 км/ч. Характер изменения сопротивления тот же что и в ранее описанных случаях, при скорости 10 км/ч сопротивление как и в нашем случае является большим в сравнении со скоростью 8 км/ч. Смещение кривых в левую сторону по оси абсцисс обосновывается изменением типа почвы при исследованиях, поскольку в данном случае опыты были проведены на среднесуглинистой почве, а по общеизвестным данным удельное сопротивление таких почв выше, чем у южных черноземов характерных для нашего случая.

2.3 Зависимость тягового сопротивления и расхода топлива

Поскольку спецификой данной работы является оценка тяговых усилий посевных агрегатов и их топливной экономичности при помощи данных о часовом расходе топлива при учете их взаимосвязи, является необходимым обосновать теоретическую зависимость усилия на крюке, крюковой мощности и часового расхода топлива.

Также необходимо учитывать тот факт, что большинство современных тракторов, как и те, что были выбраны нами для проведения энергооценки, оборудованы трансмиссией с возможностью изменения передач бесступенчато.

В свою очередь, наличие бесступенчатой передачи нарушает жесткую связь двигателя и ведущих колес, а тяговая характеристика трактора с бесступенчатой передачей строится по выходной характеристике совместной работы двигателя с передачей [20, 126].

Известно, что потенциальная тяговая характеристика трактора отображает близкую к линейной зависимость мощности на крюке и усилия при автоматическом бесступенчатом регулировании скорости движения, обеспечивающем постоянную загрузку двигателя на номинальную мощность [99, 100, 143, 145].

Как известно, номинальная мощность двигателя может быть определена, исходя из рабочей скорости движения трактора на первой рабочей передаче, соответствующей номинальному тяговому усилию с учётом условий агрофона по которому передвигается трактор. Данная зависимость описывается следующим уравнением [144, 157]:

$$N_{\text{н}} = k_{\text{з}} \cdot \frac{(P_{\text{н}} + f \cdot m_{max} \cdot g) \cdot V_1}{1000 \cdot \eta_{\text{тр}}}, \qquad (2.50)$$

где $k_{\text{з}}$ – коэффициент запаса мощности (1,05 – 1,1);

$P_{\text{н}}$ – номинальное тяговое усилие трактора, кН;

f – коэффициент сопротивления качению;

V_1 – первая основная скорость, м/с;

$\eta_{тр}$ – к.п.д. трансмиссии.

КПД бесступенчатых трансмиссий, как правило, ниже КПД простой зубчатой механической трансмиссии. При нагрузках, близких к номинальному режиму, КПД ГДТ находится в пределах 0,83 – 0,9, ГОП – 0,75 – 0,85, ЭМТ не превышает 0,8, а в зоне максимальных крутящих моментов 0,6 – 0,65 [157].

Часовой расход топлива тракторного двигателя, определяемый ЭБУ трактора оборудованного системой впрыска Common Rail при работе МТА в режиме определенной нагрузки, соответствует определенному значению крутящего моменту, усилия и мощности на крюке.

Соответственно для теоретического расчета значений тяговых усилий в определенной точке необходимо определять относительно составляющих формул в той же точке.

Крюковое усилие определяется следующим образом:

$$P_{кр} = P_{к} - P_{f}, \tag{2.51}$$

где $P_{к}$ – касательная сила тяги, кН;

P_{f} – сила сопротивления качению трактора, кН.

Касательная сила тяги определяется выражением:

$$P_{к} = \frac{М_{к} \cdot i_{тр} \cdot \eta_{тр}}{r_{к}}, \tag{2.52}$$

где $М_{к}$ – крутящий момент двигателя при крюковой мощности Нм;

$i_{тр}$ – передаточное число трансмиссии, соответствующее значению выбранной передачи;

$\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии;

$r_{к}$ – динамический радиус колеса, м.

Сила сопротивления качению:

$$P_{f} = f \cdot G_{э}, \tag{2.53}$$

где f – коэффициент сопротивления качению трактора;

$G_{э}$ – эксплуатационный вес трактора, кН.

По произведению усилия на крюке для выбранной передачи и рабочей скорости движения возможно определить тяговую мощность:

$$N_{кр} = P_{кр} \cdot V_{р}, \quad (2.54)$$

где $P_{кр}$ усилия на крюке, кН; $V_{р}$ – рабочая скорость движения, м/с.

Рабочая скорость движения определяется из следующего выражения:

$$V_{р} = \left(\frac{r_{к} \cdot \omega_{н}}{i_{тр}}\right) \cdot (1 - \delta), \quad (2.55)$$

где $\omega_{н}$ – угловая скорость коленчатого вала, $с^{-1}$;

δ – буксование движителя.

Исходя из этого часовой расход топлива будет определятся из следующего выражения:

$$G_{т} = g_{кр} \cdot N_{кр}, \quad (2.56)$$

где $g_{кр}$ – крюковой расход топлива, определяемый трактором, г/кВт·с; $N_{кр}$ – мощность на крюке, кВт

2.4 Математическая модель оптимизации параметров и режимов работы посевного агрегата в условиях различной влажности почвы

Полученные зависимости (2.30) и (2.41) позволяют учитывать влажность почвы через физико-механические свойства почвы при определении тяговых сопротивлений рабочих органов анкерных и лаповых посевных агрегатов, рассмотренных в виде двугранного и трёхгранного клиньев соответственно.

Как известно, процесс определения тяговых усилий посевных агрегатов при помощи тензометрирования является достаточно трудозатратным.

Поэтому необходимо изыскивать альтернативные пути решения данных проблем. В настоящее время это возможно благодаря современной приборной базе и хорошей технической оснащенности тракторов различного рода датчиками и прочими устройствами мониторинга технологических процессов, а также информации

об алгоритмах формирования расходов топлива и их зависимости с тяговыми параметрами агрегата.

Известно, что топливная экономичность сельскохозяйственных тракторов зависит от характеристик двигателя и режимов работы машинно-тракторных агрегатов, но современные тракторы с приводом от двигателя имеют гидродинамическую передачу, позволяющую бесступенчато регулировать скорость.

Во время работы, сеялка подвергается постоянно изменяющимся внешним воздействиям, обусловленным как характеристиками агроландшафта, так и физико-механическими свойствами почвы [80, 81].

Взаимодействие трактора и сошника сеялки – это процесс сжатия и деформации почвы. Рабочие органы очень сильно влияют на уплотнение почвы. Результатом работы сеялок и культиваторов является формирование определенной структуры поверхностного слоя почвы, отвечающей сельскохозяйственным условиям, необходимым для выращивания конкретных культур.

Процесс работы агрегатов представляет собой сложную динамическую систему, на которую влияют многие факторы, включая параметры трактора и орудия, а также условия их эксплуатации. Когда эти изменения объединяются, тяговое сопротивление значительно изменяется, что в результате значительно влияет на экономические показатели работы агрегатов.

Из-за сложности аналитических расчетов по обоснованию параметров и режимов работы посевных агрегатов в различных условиях эксплуатации, эффективность ее применения должна быть надежно оценена на основе статической теории, наиболее часто используемой в расчетах.

Для этого необходимо учитывать различные условия, в которых работают агрегаты. Только в таких случаях можно будет достичь эффективности, необходимой для внедрения новейших энергонасыщенных тракторов и сеялок в производственный цикл, и определить условия их разумного использования.

Многочисленными исследованиями авторов установлено, что низкая энергоэффективность использования почвообрабатывающих посевных агрегатов и

несоблюдение агротехнических требований к посеву обусловлена особенностями физико-механических свойств почвы, а конкретно её влажностью.

Исследованиям многих авторов было установлено, что низкая энергоэффективность использования сеялок и почвообрабатывающих агрегатов, а также несоблюдение агротребований к посеву обусловлены особенностями физико-механическими свойствами почвы, а именно ее влажностью [9, 29, 80, 81, 163].

Используя предыдущие исследолвания, в данной работе предпринята попытка довести до логического завершения теоретические вопросы по оценке влияния степени увлажнения почвы при выполнении технологических процессов посева зерновых культур, на изменение тягового усилия агрегатов, а соответственно и их энергетических показателей.

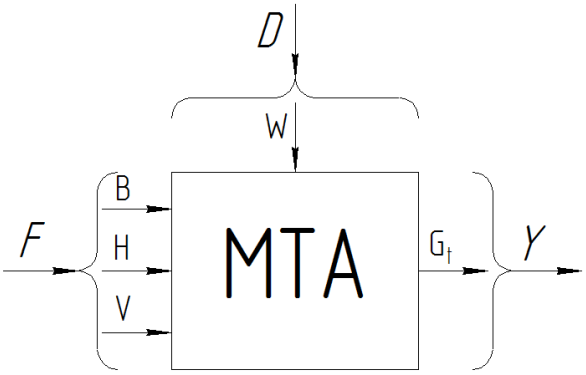

Рисунок 2.10 – Схема модели функционирования машинно-тракторного агрегата

Где F – вектор внешних воздействий; D – вектор возмущающих воздействий; Y – вектор функциональных параметров.

Данная математическая модель «почва – орудие – трактор» описывает процесс функционирования посевного агрегата как сложной динамической системы, учитывающей влияния вектор-функций внешних воздействий на процесс почвообработки F, в конкретном случае подразумевающих под собой изменение таких параметров моделирования работы агрегата как его ширина захвата – B, глубина обработки почвы – H и скорость движения – V, вектор возмущающих воздействий – D включающий одно из наиболее значимых, а в большинстве случаев

являющееся даже обобщающим для остальных физико-механических свойств почвы, её влажность – W на вектор функциональных параметров Y представленных в виде часового расхода топлива – $G_{\text{т}}$ по принципу «вход-выход».

Результаты испытаний машинно-тракторных агрегатов доказали, что процесс обработки почвы агрегатами является случайным в вероятностном смысле. И одна из главных причин, по которой работающие тракторы не в полной мере реализуют свой потенциал, заключается в том, что внешние воздействия, как правило, изменчивы. Поэтому необходимо проводить количественную и качественную оценку с использованием статистики [9, 80].

Когда непрерывная случайная величина зависит от многих факторов и каждый фактор не оказывает решающего влияния, известно, что распределение вероятностей этой переменной приближается к нормальному [142].

В результате анализа реальных процессов работы многих машинно-тракторных агрегатов, полученных по результатам экспериментов, когда скорость машинно-тракторного агрегата постоянна, закон распределения входного возмущения всей системы тягового сопротивления является нормальным [100].

Согласно известным исследованиям, зависимость значений тягового усилия на крюке и рабочей скорости движения агрегата описывается следующим уравнением [28]:

$$P_{\text{кр}} = P_o(1 + \varepsilon^0(V_p^2 - V_o^2)), \qquad (2.57)$$

где $P_{\text{кр}}$ – тяговое усилие на крюке трактора при скорости движения V_p, кН;

P_o – тяговое сопротивление агрегата при скорости приведения V_o, кН;

ε^0 – коэффициент пропорциональности, учитывающий влияние рабочей скорости движения на тяговое сопротивление.

Многочисленными результатами испытаний агрегатов установлено, что применительно к реальным условиям работы машинно-тракторных агрегатов, расход топлива тракторного двигателя является функцией связи от ширины захвата агре-

гата, глубины обработки почвы и скорости движения. В соответствии с этим предыдущими исследователями была предложена математическая модель [14, 26, 28, 63, 117, 143]:

$$G_{\text{т}} = G_{\text{то}} + E_0 \cdot B_{\text{р}} \cdot h \cdot V^2 \qquad (2.58)$$

где $G_{\text{то}}$ – математическое ожидание расхода топлива на самопередвижение агрегата и потерь в передаточных механизмах системы, г/с;

h – математическое ожидание глубины обработки почвы, м;

E_0 – коэффициент пропорциональности, учитывающий влияние физико-механических свойств почвы, параметров трактора, типов рабочих органов орудий на интенсивность прироста расхода топлива двигателя при увеличении $B_{\text{р}}$, h, V рабочей ширины захвата, глубины обработки и рабочей скорости движения соответственно.

Полученное выражение представляет собой энергетическую характеристику агрегата в целом при воздействии его на почву.

А также установлено, что важным условием эффективного использования МТА является правильный выбор рабочих скоростей движения агрегата [26]:

$$V_{\text{р}} = N_{\text{ен}} \cdot \frac{\lambda \text{N}_{\text{е}} \cdot \eta_{\text{тр}} \, (A_0 + A_1 \varphi + A_2 \varphi^2)}{G_{\text{э}} (\varphi + f)} \qquad (2.59)$$

где A_0,A_1,A_2 – коэффициенты аппроксимации для определения математического ожидания к.п.д. буксования движителей;

φ – математическое ожидание коэффициента использования сцепного веса трактора;

$G_{\text{э}}$ – эксплуатационный вес трактора, кН.

В свою очередь, величина расхода топлива тракторного двигателя и его мощности связаны линейной зависимостью.

Тогда, совместное решение уравнений (2.58 – 2.59) и будет отражать физическую сущность процесса почвообработки.

Представленное уравнение аппроксимации (2.58) достаточно адекватно описывает процесс изменения данной системы взаимодействия параметров и характеристик МТА. В свою очередь нас интересуют только некоторые изменяемые характеристики при конкретных взаимодействиях на систему, в частности влажность почвы.

В ходе анализа теоретических расходов топлива, обусловленных четырьмя различными уровнями увлажнения почвы при помощи метода наименьших квадратов по алгоритму Левенберга-Марквардта, были найдены коэффициент пропорциональности E_0 и расход топлива на самопередвижение $G_{\text{то}}$ для посевных агрегатов оборудованных двумя типами рабочих органов анкерным и лаповым [190].

В результате становится понятно, что при изменении фактора влажности почвы, значения свободных членов существенно изменяются, что говорит о их значимости, вследствие чего необходимо определить степень влияния данного фактора на величину расхода топлива $G_{\text{т}}$, относительно принятого нами базового уровня влажности почвы W = 15% для каждого типа рабочего органа в диапазоне исследуемой влажности 15-30%.

Для посевного агрегата, оборудованного анкерным сошником полученные уравнения связи имеют вид, представленный в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Коэффициенты $G_{\text{то}}$ и E_0для анкера

W, %	Уравнение	R^2
15	$G_{\text{т}} = 1{,}634 + 4{,}437 \cdot V^2$	0,96
20	$G_{\text{т}} = 1{,}516 + 3{,}193 \cdot V^2$	0,94
25	$G_{\text{т}} = 1{,}268 + 2{,}174 \cdot V^2$	0,90
30	$G_{\text{т}} = 1{,}771 + 3{,}400 \cdot V^2$	0,94

Для посевного агрегата, оборудованного лаповым сошником полученные уравнения связи имеют вид, представленный в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Коэффициенты $G_{то}$ и E_0для лапы

W, %	Уравнение	R^2
15	$G_т = 1{,}707 + 5{,}614 \cdot V^2$	0,96
20	$G_т = 1{,}480 + 3{,}534 \cdot V^2$	0,96
25	$G_т = 1{,}318 + 3{,}341 \cdot V^2$	0,84
30	$G_т = 2{,}400 + 3{,}980 \cdot V^2$	0,94

Поскольку, коэффициент пропорциональности E_0 и расход топлива на самопередвижение $G_{то}$ возрастают на определенную величину, получим значения их приростов, а далее найдем для каждого уровня влажности почвы и обозначим коэффициентами $K_W^{E_0}$ и $K_W^{G_т}$и сведем в таблицы 2.3 и 2.4.

Таблица 2.3

Величины приростов коэффициентов $G_{то}$ и E_0для анкера

W,%	15	20	25	30
$K_W^{G_т}$	1	0,93	0,87	1,08
$K_W^{E_0}$	1	0,72	0,49	0,77

Таблица 2.4

Величины приростов коэффициентов $G_{то}$ и E_0для лапы

W,%	15	20	25	30
$K_W^{G_т}$	1	0,87	0,77	1,41
$K_W^{E_0}$	1	0,63	0,59	0,71

Проанализировав данные коэффициенты, аппроксимируем их значения по функции полинома второй степени и получим зависимости для двух типов рабочих органов, связывающие данный коэффициент с уровнем увлажнения почвы.

Для анкерного сошника данное уравнение связи коэффициента $K_W^{G_т}$ будет иметь вид:

$$K_W^{G_т} = 2{,}2905 - 0{,}1269 \cdot W + 0{,}0029 \cdot W^2, R^2 = 0{,}81 \qquad (2.60)$$

где W – влажность почвы, %.

Для лапового:

$$K_W^{G_т} = 4{,}4069 - 0{,}3416 \cdot W + 0{,}008 \cdot W^2, R^2 = 0{,}85 \qquad (2.61)$$

Графическая интерпретация уравнений (2.60) и (2.61) представлена на Рисунке 2.11.

Рисунок 2.11 – Изменения коэффициента $K_W^{G_т}$, учитывающего влияние влажности почвы, на интенсивность прироста расхода топлива тракторного двигателя

Коэффициент $K_W^{G_т}$, учитывающий влияние влажности почвы, на интенсивность прироста расхода топлива на самопередвижение при моделировании работы посевного агрегата с анкерными рабочими органами изменяется в диапазоне 0,78 – 1,08, с лаповыми 0,77 – 1,41.

Для анкерного сошника данное уравнение связи коэффициента $K_W^{E_0}$ будет иметь вид:

$$K_W^{E_0} = 3{,}8732 - 0{,}2696 \cdot W + 0{,}0055 \cdot W^2, R^2 = 0{,}89 \qquad (2.62)$$

Для лапового:

$$K_W^{E_0} = 3{,}5893 - 0{,}2448 \cdot W + 0{,}005 \cdot W^2, R^2 = 0{,}99 \qquad (2.63)$$

Графическая интерпретация уравнений (2.62) и (2.63) представлена на Рисунке 2.12.

Рисунок 2.12 – Изменения коэффициента $K_W^{E_0}$, учитывающего влияние влажности почвы, на интенсивность прироста расхода топлива тракторного двигателя

Коэффициент $K_W^{E_0}$, учитывающий влияние влажности почвы, на изменчивость прироста расхода топлива тракторного двигателя, зависящего от изменения его параметров и рабочей скорости движения при моделировании работы посевного агрегата с анкерными рабочими органами изменяется в диапазоне 0,49-1,00, с лаповыми 0,59-1,00.

Данные зависимости позволяют определять величины коэффициентов при конкретном уровне увлажнения почвы в диапазоне влажности почвы 15-30%.

Подставив коэффициент $K_W^{E_0}$ и $K_W^{G_т}$ в уравнение (2.58), получим зависимость часового расхода топлива МТА от различных уровней увлажнения почвы при посеве в диапазоне влажности почвы 15-30%:

$$G_т = K_W^{G_т} G_{то} + K_W^{E_0} E_0 \cdot B_р \cdot h \cdot V^2, \qquad (2.64)$$

где $K_W^{E_0}$ – коэффициент, учитывающий влияние влажности почвы, на интенсивность прироста расхода топлива двигателя при увеличении $B_р$, h, V^2 рабочей ширины захвата, глубины обработки и рабочей скорости движения соответственно;

$K_W^{G_т}$ – коэффициент, учитывающий влияние влажности почвы, на интенсивность прироста расхода топлива двигателя при увеличении расхода топлива на самопередвижение агрегата $G_{то}$.

Таким образом, на основании теоретических данных, предложено усовершенствование математической модели энергетической оценки работы посевного агрегата с учетом влажности почвы при посеве. Данная модель позволяет выполнять обоснование параметров и режимов работы МТА с различными вариантами сошников.

2.5 Выводы по главе

1. Получены теоретические зависимости для определения продольной составляющей силы тяги анкерного и лапового сошников, позволяющие получить количественную оценку тягового сопротивления в зависимости от их типа и уровня влажности почвы.

2. Обоснована взаимосвязь тягового усилия и часового расхода топлива тракторного двигателя, приведен алгоритм расчёта тяговых усилий МТА в конкретных условиях эксплуатации по известным значениям часового расхода топлива. Что существенно упрощает расчеты выходных показателей работы.

3. Усовершенствованная математическая модель энергетической оценки посевных агрегатов позволяет обосновывать параметры и режимы их работы в условиях различной влажности почвы по расходу топлива.

4. Определены значения коэффициента $K_W^{E_0}$, учитывающего влияние влажности почвы на интенсивность прироста расхода топлива тракторного двигателя от изменения параметров МТА и режимов работы с лаповыми и анкерными сошниками, которые изменяются в пределах 0,59-1,00 и 0,49-1,00 соответственно.

5. Значения коэффициента $K_W^{G_т}$, учитывающего влияние влажности почвы на интенсивность прироста расхода топлива на самопередвижение агрегата при изменении параметров МТА и режимов работы с лаповыми и анкерными сошниками находятся в диапазоне 0,77-1,41 и 0,78-1,08 соответственно.

ГЛАВА 3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа экспериментальных исследований

Целью исследований является проверка правильности основных теоретических положений и оценка адекватности усовершенствованной математической модели энергооценки посевных агрегатов, оборудованных различными вариантами сошников в эксплуатации.

Задачи исследований включали:

- установление эмпирических зависимостей расхода топлива тракторного двигателя при работе посевных агрегатов, оборудованных анкерным и лаповым сошниками в зависимости от рабочей скорости движения и уровня влажности почвы;

- проведение сравнительной энергетической и агротехнической оценки посевных агрегатов с анкерным и лаповым сошниками;

- сравнительную оценку теоретических и экспериментальных данных.

В соответствии с целью и определенными для её достижения задачами, разработана программа экспериментальных исследований, которая включает следующие этапы:

1. Планирование факторного эксперимента по сравнительной энергооценке посевных агрегатов и реализация его в полевых условиях.
2. Обобщение результатов многолетних полевых опытов по оценке качества посева лаповыми и анкерными сошниками.
3. Сравнительный анализ полученных результатов.

3.2 Выбор отклика, числа факторов и уровней варьирования

Параметрами оптимизации являются определенные признаки, по которым представляется возможным оптимизировать определенный процесс. Параметры, в свою очередь изменяются при различных комбинациях уровней варьирования факторов. Выбор данных параметров осуществлялся на основании конкретных задач исследования, изложенных в первом разделе.

В соответствии с основными требованиями, предъявляемыми к отклику объекта исследования, в качестве отклика был выбран расход топлива тракторного двигателя [11, 43, 113, 114, 118]

После выбора параметра оптимизации, были рассмотрены факторы влияющие на процесс работы посевного агрегата в условиях различного увлажнения почв. Анализ данных факторов, источников литературы и предварительные исследования показали, что наибольшее влияние на расход топлива тракторного двигателя в данном случае оказывает рабочая скорость движения агрегата и уровень влажности почвы [113].

Факторы выбирались на основании следующих условий [11]:

– может быть постоянным на протяжении всего опыта (управляемым);

– не зависим от других, не является их функцией (однозначным);

– оказывать влияние на функцию отклика.

Прочие существующие факторы, влияющие на изменение расхода топлива тракторного двигателя, такие как рабочая ширина захвата, оставались неизменными.

После выбора определяющих факторов были выбраны интервалы их варьирования, с учетом следующих условий [113]:

– не могут быть меньше ошибки, с которой фиксируются уровни фактора;

– не должны быть меньше изменения фактора.

В качестве основного уровня влажности почвы было выбрано значение 22,5%, являющееся средним значением интервала, характеризующего физическую спелость почвы [121].

В свою очередь нижний и верхний уровни влажности почвы составили 15% и 30% соответственно, на основании общеизвестных многолетних данных множества исследователей, посвященных земледелию [22].

В качестве основного уровня скорости движения было принято значение 1,94 м/с, являющееся средним между минимальной общепринятой для посевных агре-

гатов 1,11 м/с являющейся нижним уровнем и являющейся верхним уровнем скоростью 2,78 м/с, которая ограничивается агротехническими требованиями к посеву, поскольку в 95% случаях ее превышения нарушается качество посева [87].

Факторы и уровни их варьирования, определяющие функцию отклика представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Уровни варьирования факторов

Наименование фактора	Уровни факторов			
	1	2	3	4
Рабочая скорость движения МТА (x_1), м/с	1,11	1,66	2,22	2,78
Влажность почвы (x_2), %	15	20	25	30

На основании этого в таблице 3.2 запишем матрицу планирования эксперимента, в соответствии с которой необходимо было провести 16 опытов [43].

Таблица 3.2

Матрица плана эксперимента

№ п/п	№ опыта	Уровни факторов	
		x_1	x_2
1	7	2	3
2	10	3	2
3	5	2	1
4	2	1	2
5	15	4	3
6	14	4	2
7	11	3	3
8	8	2	4
9	3	1	3
10	16	4	4
11	12	3	4
12	4	1	4
13	9	3	1
14	13	4	1
15	6	2	2
16	1	1	1

Для данного плана эксперимента уравнение регрессии, после оценки значимости коэффициентов, будет иметь следующий вид:

$$Y = b_0 + b_1 x_1^2 + b_2 x_2^2 - b_3 x_2, \quad (3.1)$$

где Y – функция отклика;

b_0, b_1, b_2, b_3 – коэффициенты регрессии;

x_1, x_2 – значения факторов.

Данный план эксперимента был реализован для двух посевных агрегатов, принципиальным отличием которых являлся лишь рабочий орган, которым была оборудована сеялка (анкерный, лаповый).

3.3 Методика проведения полевого опыта

3.3.1 Схема проведения полевого опыта

Опыт по определению расхода топлива реализован в составе агрегата New Holland T8.410 + СТС 2.1 (Рис. 3.1) в ООО КХ «Партнер» Михайловского района Алтайского края по стерневому фону. Предшественник яровая пшеница. Температура воздуха при проведении опытов составляла 20±15℃, атмосферное давление не менее 725 мм рт. ст. Уклон плоскости, прилегающей поверхности фона в пределах габаритов трактора вдоль и поперёк движения составлял не более 2 и 6 % соответственно. Комплектация трактора с учетом балласта и массы водителя соответствовала указанной в руководстве по эксплуатации для наиболее энергоемкой по тяговому усилию операции, соответствующей назначению трактора. Наработка трактора составляла более 150 моточасов. Износ почвозацепов движителей по высоте составлял не более 35 %. Механизмы и оборудование, не передающие мощность движителям, не участвующие в процессе работы агрегата были отключены.

Схема проведения опыта была следующей (Рис. 3.3). Длина гона составляла 460 м, полосы разгона между основными 100-метровыми участками составляли 15 м. Рабочая скорость движения агрегата задавалась механизатором из кабины трактора в диапазоне 4,0-10,0 км/ч, с шагом дискретизации 2,0 км/ч. Измерение расхода топлива тракторного двигателя на каждом уровне рабочей скорости движения проводилось в пятнадцатикратной повторности. Данный опыт повторялся на четырёх

уровнях влажности почвы – 15, 20, 25, 30% для агрегата, оборудованного анкерным, а затем лаповым рабочим органом (Рис. 3.2) (Таблица 3.3). Влажность почвы в слое 0-0,1 м на каждом уровне замерялась в десятикратной повторности.

Таблица 3.3

Параметры посевных агрегатов

New Holland T8.410 + CTC 2.1	Gтр, кг	Nен, кВт	Вр, м	Рабочий орган
	11315	275	2,1	Анкер/Лапа

Примечание: Gтр, кг – масса трактора эксплуатационная, кг; Nен – номинальная мощность двигателя, кВт; Вр – рабочая ширина захвата агрегат.

Рисунок 3.1 – Вид посевного агрегата NewHollandT8.410 + CTC 2.1

а) анкерные б) лаповые

Рисунок 3.2 – Исследуемые сошники

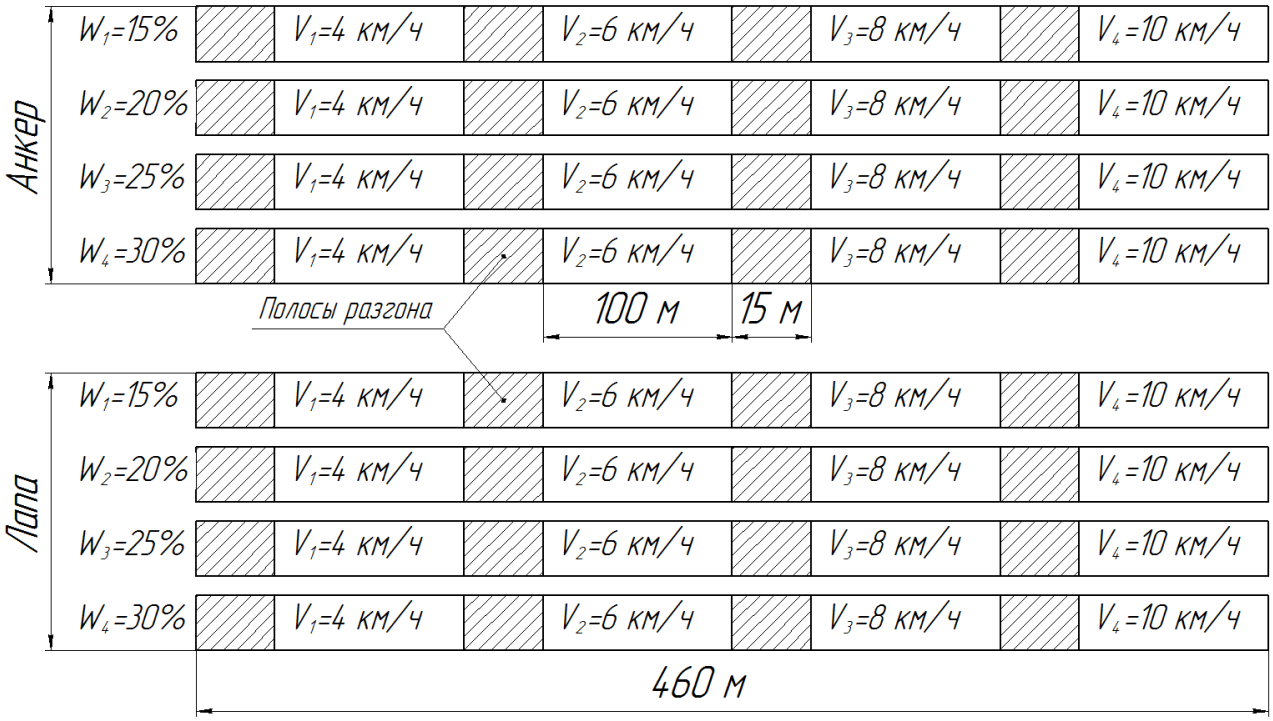

Рисунок 3.3 – Схема полевого опыта

3.3.2 Методика определения скорости движения трактора

Повышение производительности МТА может достигаться как за счёт изменения ширины захвата орудий, так и скорости движения агрегата, поэтому опыт был проведен на различных уровнях рабочей скорости движения агрегата.

Скорость движения трактора описывает показатель, выражающий расстояние, пройденное трактором в единицу времени. Зависит от частоты вращения коленчатого вала тракторного двигателя, передаточного отношения трансмиссии, буксования и других характеристик движения. Скорость трактора подразделяется на теоретическую - скорость прямолинейного движения трактора по ровной горизонтальной поверхности без учёта буксования; рабочую – фактическая скорость движения при работе в конкретных условиях и скорость холостого хода трактора – скорость движения трактора без нагрузки, а также среднетехническую и эксплуатационную скорости при работе в составе агрегата.

Во время проведения опыта определялась рабочая скорость агрегата. Также, как и в случае с расходом топлива несколькими способами в результате чего для минимизации ошибки опыта результаты сопоставлялись.

Скорость движения агрегата определялась как при помощи внутренней системы трактора путем расчетов ЭБУ и данных о местоположении трактора системой GPS/GLONASS, так и в соответствии с ГОСТ 30745-2001 «Тракторы сельскохозяйственные. Определение тяговых показателей» [2].

При определении в соответствии с требованиями ГОСТ скорость движения трактора определялась по формуле:

$$V = \frac{L}{T_{\text{оп}}}, \tag{3.2}$$

где L – длина зачетного участка, м;

$T_{\text{оп}}$ – продолжительность опыта, с.

Продолжительность опыта определялась при помощи секундомера. Для определения зачётного участка пути было необходимо знать суммарное число оборотов ведущих колес трактора на зачётном участке и количество оборотов путеизмерительного колеса. При известной длине обода путеизмерительного колеса, длина участка определялась по следующей формуле:

$$L = C \cdot n, \tag{3.3}$$

где C – длина окружности колеса, м;

n – количество оборотов колеса.

Также скорость движения определялась при помощи аналогового GPS/GLONASS спидометра, который отправляет данные о своём местоположении спутнику с определенной частотой, что позволяет обновлять данные о скорости на пройдённом участке достаточно быстро и отображать данные на табло, данный прибор использовался для уменьшения погрешности и контроля остальных методов измерения скорости, отличительной его особенностью является то, что при наборе скорости происходит некоторая задержка сигнала со спутника, поэтому данные значения имеют погрешность, а наиболее точно он отображает только установившуюся скорость движения, на что и был акцент при проведении нашего опыта.

3.3.3 Методика определения расхода топлива

Основным методом определения расхода топлива посевного агрегата являлся метод определения при помощи аккумуляторной топливоподающей системы дизельного двигателя (Common Rail) и электронного блока управления трактора (ЭБУ). Во избежание погрешностей при определении расхода топлива данный метод контролировался и сопоставлялся с классическими методиками и государственных стандартов - ГОСТ 30745-2001 «Тракторы сельскохозяйственные. Определение тяговых показателей», которые включают в себя такие методы как массовый, объемный. В свою очередь эксперименты проводились при использовании современных измерительных приборов и средств для уменьшения общей погрешности измерения [2, 150, 152].

Определение расхода топлива тракторной системой. Дизельные двигатели смогли соответствовать высоким экологическим стандартам благодаря прорыву в конструкции топливных систем в конце 1990-х годов, а конкретно появлению двигателей, оборудованных системой впрыска Common Rail (CR), и сопутствующей разработке систем управления двигателем с электронным управлением. С появлением системы CR гибкое управление подачей топлива с электронным управлением в сочетании с улучшенным давлением впрыска форсунок в цилиндре двигателя привело к снижению удельного расхода топлива и выбросов выхлопных газов. Электронное управление дизельными двигателями позволяет точно регулировать параметры впрыска топлива на всех режимах работы [123].

В связи с оснащенностью большого количества современных дизельных двигателей системой впрыска CR, появилась возможность определения расхода топлива при помощи электронной системы управления впрыском системы CR с минимальной погрешностью.

Электронная система управления состоит из трех системных модулей (Рис. 3.4):

1. Датчики и генераторы импульсов определяют рабочие условия (температура, давление всасываемого воздуха) и заданные значения (положение переключателей). Затем он преобразует эту физическую переменную в электрический сигнал.

2. Электронный блок управления (ЭБУ) обрабатывает сигналы от датчиков и опорных генераторов на основе алгоритмов управления с обратной связью. ЭБУ управляет приводом с помощью электрического выходного сигнала. ЭБУ также обменивается данными с другими системами, такими как системы диагностики машины.

3. Исполнительные устройства преобразуют электрический выходной сигнал от блока управления в электрический управляющий сигнал более высокого уровня или в механическое воздействие при управлении двигателем.

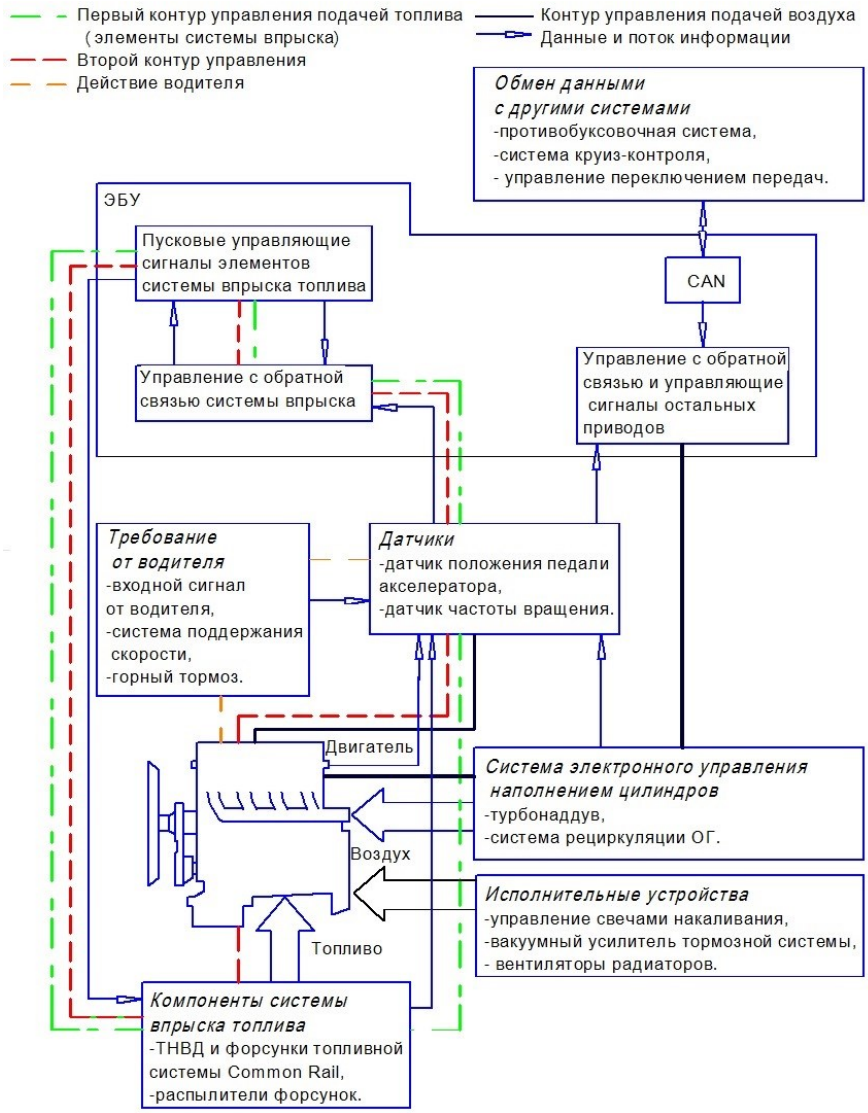

Рисунок 3.4 - Последовательность работы электронной системы управления дизельным двигателем [123]

Основная функция электронной системы управления - регулирование топливного цикла, опережения впрыска и контроля давления впрыска. Используя данные датчика и сохраненную программируемую матрицу, микропроцессор с электронным управлением вычисляет угол опережения и продолжительность впрыска. Затем эта информация преобразуется в передаточную функцию, которая синхронизируется с рабочим циклом каждого цилиндра двигателя [123].

В отличие от двигателей с механическим управлением, дизельные двигатели с электронным управлением напрямую не влияют на периодичность подачи топлива педалью акселератора. Периодичность подачи топлива дизельного двигателя

с электронным управлением определяется на основе многих факторов, таких как положение педали акселератора, режим работы двигателя, температуры масла, температуры охлаждающей жидкости, температуры и давление на впуске [123].

На (Рис. 3.5) показан порядок расчета параметров впрыска и зависимости анализируемых параметров (количество которых определяется индивидуально для каждого цикла двигателя). Для достижения оптимального процесса сгорания во всех режимах работы дизельного двигателя блок управления точно рассчитывает время и количество впрыскиваемого топлива и выполняет так называемую циклическую подачу [123].

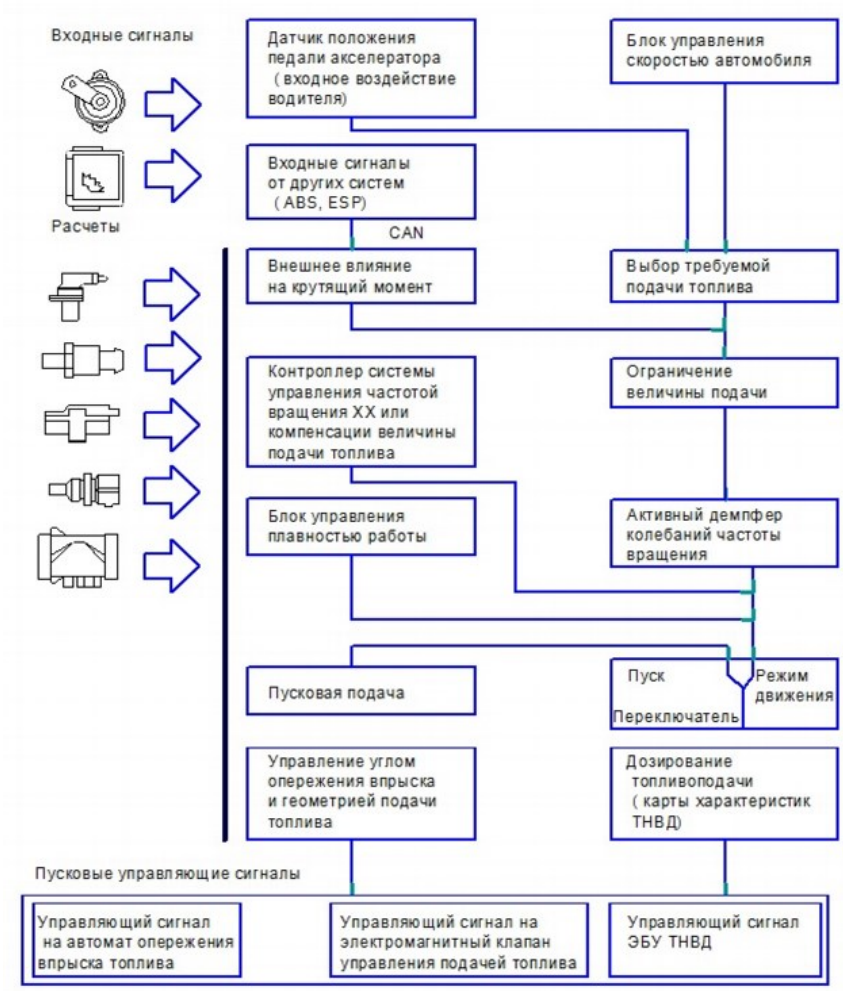

Рисунок 3.5 – Ход расчета процесса подачи топлива блоком управления CR [156]

Поскольку в настоящее время система CR применяется на большом количестве дизельных двигателей, и в виду отсутствия разбора алгоритма подачи топлива

дизельного двигателя на примерах сельскохозяйственного трактора, за основу были взяты уже имеющиеся труды учёных, с учётом того, что принцип работы системы CR в большинстве случаев является идентичным как для дизельных двигателей автомобилей, так и тяговых машин, в том числе и сельскохозяйственных тракторов, оборудованных современными моторами.

Основная задача аккумуляторных топливных систем и электронных блоков управления автомобиля - подавать нужное количество топлива в нужное время, в зависимости от требуемых оборотов двигателя и условий нагрузки. Для систем с топливными аккумуляторами высокого давления это возможно при соблюдении некоторых условий.

-наличие давления топлива, необходимого для впрыска

- текущая скорость движения, нагрузка и тепловое состояние дизельного двигателя.

Информация об открытии дроссельной заслонки, установленная водителем, вводится в массив выходного давления и крутящего момента электронного блока управления. От двигателя, помимо текущей угловой скорости коленчатого вала, поступает давление наддува на выходе из турбокомпрессора. Последний является сигналом, ограничивающим текущую циклическую скорость подачи в соответствии с требованиями регулирования дыма. ЭБУ выбирает не минимальную величину нагнетания, а максимально возможную величину нагнетания при постоянном давлении наддува. С другой стороны, выходная мощность подсистемы аккумуляторной топливной системы в транспортном средстве является требуемым методом подачи топлива, который количественно определяется периодической подачей и измеряется в единицах массы или объема. Это в основном зависит от текущего давления в топливном аккумуляторе высокого давления, и блок управления будет генерировать управляющий импульс соответствующей длительности на основе информации о давлении [91].

Таким образом, цикловая подача топлива, определенная блоком управления двигателем g_3, сравнивается с другим значением (максимально возможным впрыском), полученным с учетом периодического наполнения воздухом g_a. Если заданная скорость потока в условиях движения не превышает максимально возможную скорость потока с точки зрения задымлённости, тогда эта скорость потока используется для дальнейших расчетов, в противном случае часть топлива, ограниченная условиями задымления, используется в качестве расчетной части [91].

$$g_3 = \frac{4\pi M_3}{zH_и\eta_e} = B\frac{M_3}{\eta_e}, \tag{3.4}$$

где M_3 – крутящий момент требуемый для условий движения;

z – число цилиндров двигателей;

$H_и$ – низшая теплотворная способность топлива МДж/кг;

η_e – эффективный КПД;

$B = \frac{4\pi}{zH_и}$ – постоянная величина, не зависящая от режима работы ДВС;

$$g_a = \frac{V_h p_k \eta_V}{\alpha_{min} l_0 R_B T_k} = \frac{p_k \eta_V}{\alpha_{min} T_k}, \tag{3.5}$$

где p_k – соответственно давление воздуха на выходе из компрессора, Па;

T_k – температура воздуха на выходе из компрессора, К;

α_{min} – минимально допустимый коэффициент избытка воздуха по дымлению (задается заранее для каждого режима ДВС)

R_B – универсальная газовая постоянная для воздуха, Дж/(кг · К);

$A = \frac{V_h}{l_0 R_B}$ – постоянная, не зависящая от режима работы двигателя.

В соответствии с описанной схемой и алгоритмом функционирования впрыска системы CR, производится расчёт цикловой подачи топлива дизельного двигателя, а параллельно и объема или массы топлива в единицу времени, которая вследствие учитывается электронным блоком управления системы и отображается в виде конкретных значений на табло трактора в кабине оператора, как часовой расход топлива с интервалом перемены в несколько секунд.

Относительно погрешностей данного сравнительно нового метода определения расхода топлива при проведении энергооценки МТА, справедливо отметить, что данный способ, прежде всего является расчётным. Блок управления системы CR определяет его относительно конкретных показаний датчиков, не учитывая техническое состояние топливоподающей системы. Как правило, со временем техническое состояние трактора и его систем изменяется, например, может варьироваться величина износа рабочих поверхностей подвижных деталей инжектора из-за применения некачественного дизельного топлива, и методика расчета может иметь погрешности [90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 160].

В нашем случае использовался практически новый трактор New Holland T8.410, недавно прошедший в соответствии с ГОСТ 20793-2009 «Тракторы и машины сельскохозяйственные. Техническое обслуживание» ТО-1 на отметке 150 моточасов, что в свою очередь не противоречило ГОСТ 30745-2001 «Тракторы сельскохозяйственные. Определение тяговых показателей», который гласит, что наработка трактора при проведении испытаний должна быть более 150 моточасов [45, 46, 47].

Также отличное техническое состояние подтверждается специалистами фирмы дистрибьютора сельскохозяйственной техники New Holland в Алтайском крае (ООО «АСМ-Алтай»), проводившим ТО, в связи с вышесказанным данный опыт был проведен корректно.

3.4 Методика определения основных физико-механических характеристик обрабатываемой почвы

Для реализации основных лабораторно-полевых исследований по энергооценке машинно-тракторного агрегата необходимо было провести ряд сопутствующих анализов и измерений, отражающих особенности и обстоятельства проведения опыта.

Влажность почвы определялась с помощью электронного сенсорного влагомера HH-2 «Delta-T Devices», снабженного цифровым индикатором. Тарировка

прибора проводилась в соответствии с ГОСТ Р 8.879-2014 «Методики калибровки средств измерений».

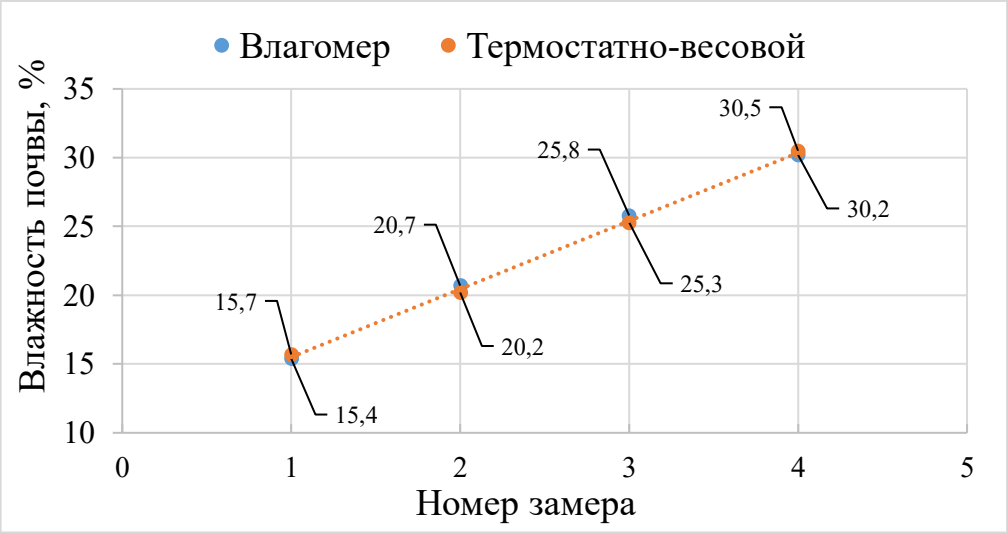

Рисунок 3.6 – График тарировки влагомера HH-2 «Delta-T Devices»

При тарировке (Рис. 3.7) сопоставлялись показания прибора HH-2 и результаты определения влажности почвы термостатно-весовым способом, погрешность измерений составляла ±1,85% при заявленной производетелем ±1%, что в обоих случаях не превышает 4% в соответствие с ГОСТ 8.401-80 «Классы точности средств измерений».

Твердость почвы определялась при помощи твердомера почвы Голландского производства Eijkelkamp.

Исследование силы сопротивления почвы проникновению дает возможность определить несущую способность почвы (при выполнении инженерных работ), а также усилия необходимые растениям для проникновения через почвенный слой (применительно к сельскому хозяйству). Степень сопротивления проникновению – одна из физических величин, и в свою очередь зависит как от структуры почвы, влажности, плотности почвы так и от связи между минеральными частицами.

Определение твердости почвы требует проведения многочисленных измерений. Данный электронный прибор в совокупности с регистратором информации позволяет на много проще решать поставленные задачи по сбору, хранению и обработке информации об измерениях.

3.5 Методика агротехнической оценки

Высокий урожай зерновых культур можно получить, только путем обеспечения оптимальных условий для их произрастания. Глубина заделки семян в почву является одним из этих условий. От него напрямую зависят дружные всходы семян, а в итоге и урожайность культуры. Поэтому данный фактор является важнейшим при возделывании зерновых.

Общепринятая оптимальная глубина заделки семян в почву для нашего региона составляет 5-6 см.

Чтобы понять, как влияет на глубину заделки семян наш сошник, были проведены исследования (Рис. 3.9).

Рисунок 3.7 - Исследуемые растения

Глубину заделки семян определяют тремя методами: методом непосредственного нахождения (раскопками) семян в рядке (гнезде), прибором для послойного снятия почвы, измерением этиолированной части растения [54].

Был выбран метод определения по этиолированной части растений. Для определения глубины заделки семян по этиолированной части растений в день посева на одной из повторностей опыта отмечают рядки, находящиеся вне следа колес агрегата, использовав метод случайного выбора. После всходов (два-три листика) в отмеченных рядках у растений срезают надземную часть. Оставшуюся в почве часть растения вместе с семенами выкапывают и измеряют длину с погрешностью ± 1 мм. Расстояние от семени до места среза является показателем глубины заделки семян. Растения выкапывают с интервалом не менее 15 см.

Для каждого ряда сошников глубину заделки семян определяют не менее чем у 20 растений при трехрядном расположении сошников, не менее чем у 25 - при двухрядном, не менее 30 - при однорядном.

Результаты измерений глубины заделки семян записывают в форму.

Дополнительно определяют глубину заделки семян не менее чем по двум сошникам, идущим по следу колес трактора, сеялки, сцепки, использовав метод случайного выбора. Количество измерений должно быть не менее 20. Результаты в зависимости от метода определения записывают в форму.

По результатам измерений глубины заделки семян строят гистограммы распределения глубины заделки семян. На график наносят значения интервалов глубины заделки семян и частоты данных интервалов в процентах [4].

3.6 Методика оценки ошибок измерений и обработки результатов

Как известно, при проведении экспериментов возможны разного рода погрешности или ошибки.

Случайные погрешности – это случайно изменяющиеся ошибки при повторных измерениях определенной величины.

Систематические погрешности – это закономерно изменяющиеся или не изменяющиеся ошибки при многократных измерениях одной и той же величины.

Общая систематическая ошибка чаще всего складывается из отдельных систематических ошибок:

$$\Delta_{\text{C}} = \sum_{i=1}^{n} \Delta_{ci}, \qquad (3.6)$$

Для факторов, влияние которых вносит систематическую ошибку, задаются случайные значения, тем самым применяется метод рандомизации, при его применении влияние ошибок сказывается только на случайной ошибке, что вследствие не влияет на точность измерения.

Грубые ошибки (промахи) – это погрешности, значительно превышающие случайные и систематические погрешности, могут возникать вследствие неисправностей измерительной аппаратуры или невнимательности экспериментатора.

Среднеарифметическое отклонение определялось по классической формуле:

$$\bar{X} = \frac{x_1+x_2+\ldots x_n}{n}, \tag{3.7}$$

где x_1, x_1, x_1 – значения случайной величины;

n – количество значений.

Среднеквадратическое отклонение также определяли по классической формуле:

$$S = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} x_i^2}{n} - \bar{X}^2\right)\frac{n}{n-1}}. \tag{3.8}$$

Проверка гипотезы о нормальности распределения результатов проводилась на основании критерия Колмогорова-Смирнова [124]:

$$\lambda = d\sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2}{n_1+n_2}}, \tag{3.9}$$

где d – наибольшая разность процентильного распределения;

n_1 и n_2 – число в выборке.

Однородность дисперсии результатов измерений проверялась по критерию Кохрена [113]:

$$G_p = \frac{S_{imax}^2}{\sum_{i=1}^{N} S_i^2}, \tag{3.10}$$

где $S_{i\,max}^2$ – максимальная дисперсия опыта;

$\sum_{i=1}^{n} S_i^2$ – дисперсия i – го опыта.

Построчные дисперсии определялись по следующей формуле [118]:

$$S_i^2 = \frac{\sum_{i=1}^{m}(Y_g - \bar{Y}_i)}{n-1}, \quad (3.11)$$

где $\bar{Y}_i$ – значения параметра отклика в i – ом опыте;

Y_g – среднеарифметическое значение параметра отклика в i – ом опыте.

Дисперсию воспроизводимости определяли следующим образом [43]:

$$S^2_{\text{воспр}} = \frac{\sum_1^N \sum_1^m (Y_g - \bar{Y})}{N(n-1)}, \quad (3.12)$$

где N – количество опытов.

Дисперсии будут являться однородными если вычисленное значение критерия будет меньше табличного значения.

Расчёт коэффициентов уравнений регрессии проводился при помощи МНК по алгоритму Левенберга-Маркварта (LMA), основанный на направлении поиска, сочетающего в себе направления Ньютона – Гаусса и наискорейшего спуска. [190]:

$$(J(x_k)^T J(x_k) + \lambda_k I) \cdot d_k = -J(x_k)F(x_k), \quad (3.13)$$

где λ_k задаёт величину и направление d_k, если λ_k равняется нулю, то направление d_k как и по методу Ньютона – Гаусса будет таким же. Когда λ_k будет стремится к ∞, в свою очередь параметр d_k устремится к направлению скорейшего спуска и вектору с нулевыми компонентами.

Для проверки статистической значимости полученных коэффициентов регрессии применялся *t*-критерий [112]:

$$\Delta b_i = \mp \frac{t \cdot S}{\sqrt{N}}. \quad (3.14)$$

Дисперсию адекватности определяли следующим образом [113]:

$$S^2_{\text{ад}} = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^{n}(\bar{Y} - \hat{Y}_p)^2}{N-(k+1)}, \quad (3.15)$$

где $\hat{Y}_p$ – значение отклика в i – ой строке;

k – количество факторов

Адекватность модели проверяли по критерию Фишера [113]:

$$F_p = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_{\text{воспр}}^2}, \quad (3.16)$$

Для подтверждения адекватности необходимо, чтобы расчетное значение критерия было меньше теоретического.

3.7 Измерительные приборы и оборудование

При проведении исследований по определению расхода топлива тракторного двигателя применялось оборудование, соответствующее государственным стандартам.

Пенетрологгер – это прибор для исследования силы сопротивления почвы проникновению (Рис. 3.8). Данный прибор позволяет измерить сопротивление почвы проникновению на глубине до 80 см послойно. Прибор включает в себя силовой датчик, регистратор данных, зонд, конус и ультразвуковую систему измерения глубины. Перед проведением полевых исследований, с использованием ПК или на самом регистраторе данных задается программа проведения исследований (проект, количество замеров, тип конуса, скорость погружения и др.). Размер конуса и скорость погружения прибора в почву оказывают большое влияние на сопротивления почвы проникновению.

Путем приложения равномерного усилия на симметричную рукоять, выполненную из электроизоляционного покрытия прибор строго в вертикальном положении, погружается в почву. Твердомер снабжен специальным механизмом контроля скорости погружения датчика в землю (если погружать прибор слишком быстро, то очень сильно снижается точность измерения). Данные, полученные в процессе исследований, сохраняются в памяти твердомера, которая рассчитана на 1500 измерений. Предел измерений прибора 0 – 10000 кПа, а их погрешность ± 1%.

Рисунок 3.8 – Твердомер почвы Eijkelkamp

Измеритель влажности (Рис. 3.9). подает питание на датчик и измеряет возвращаемое напряжение выходного сигнала. Он отображает это непосредственно, в мВ, и преобразует в другие единицы, в зависимости от типа датчика и доступной информации. (Результаты эквитензиометра могут отображаться только в мВ.) Измеритель преобразует показания мВ в единицы влажности почвы, используя таблицу линеаризации и параметры, специфичные для почвы.

Таблицы линеаризации предварительно установлена для датчиков, а также параметры почвы для следующих почв: органическая, минеральная, торфяная смесь, дренаж, минеральная вата и перлит.

Для большей точности возможно ввести свои собственные параметры типа почвы - но они должны быть определены экспериментально.

Для определения мм дефицита влаги необходимо указать полевую емкость и корневую глубину для каждого типа почвы и культуры.

Дата и время сохраняются при каждом чтении. Перед сохранением показаний вы можете ввести уникальную метку графика, образца или идентификатора устройства.

Измеритель влажности подает питание на датчик, получает показания в виде последовательных данных, обрабатывает их и рассчитывает объемную и поровую проводимость, объемную диэлектрическую проницаемость и температуру по мере

необходимости. Используя установленные калибровки почвы, HH2 рассчитывает содержание воды. Учитывая глубину корня и емкость поля, он также может рассчитать дефицит в мм.

Датчики определения влажности напрямую измеряют диэлектрическую проницаемость почвы, объемную электропроводность и температуру. Исходя из этого, а также с использованием специальных таблиц и уравнений калибровки почвы, HH2 рассчитывает объемную влажность почвы и проводимость поровой воды с погрешностью ± 1%.

Рисунок 3.9 – Влагомер HH-2 «Delta-T Devices»

3.8 Выводы по главе

В данной главе приведена программа и методика экспериментальных исследований машинно-тракторного агрегата New Holland T8. 410 + CTC 2,1.

Дана характеристика условий проведения испытаний, приборов и оборудования, используемых при измерениях. Изложены методики оценки механического состава почвы и физико-механических свойств, приведена схема полевого опыта, методика определения расхода топлива МТА и агротехнической оценки.

Исследования выполнены на современной приборной базе и оборудовании в соответствии с государственными стандартами. Обработка результатов выполнялась с использованием пакета прикладных программ MSOffice, STATISTICA, MATLAB.

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты проведения энергетической оценки посевного агрегата

В данном разделе представлены результаты энергетической оценки работы посевных агрегатов в условиях различного увлажнения почвы. Как известно, тяговое сопротивление, а как следствие и расход топлива агрегата на выполнение технологических операций изменяется с изменением влажности почвы, рабочей скорости движения, рабочей ширины обработки и глубины обработки [40, 143, 144].

Для оценки влияния уровня влажности почвы и рабочей скорости движения посевного агрегата на расход топлива тракторного двигателя был реализован четырехуровневый план эксперимента для двух факторов, в результате которого были получены уравнения регрессии для посевного агрегата с анкерными и лаповыми сошниками (3.2), различающиеся между собой лишь значениями коэффициентов (b_0, b_1, b_2, b_3).

Обработка экспериментальных данных методом регрессионного анализа позволила установить зависимость расхода топлива тракторного двигателя при работе посевного агрегата с анкерными сошниками от рабочей скорости движения и уровня увлажнения почвы, которая в раскодированном виде будет иметь следующий вид:

$$Gt = 10{,}298 + 0{,}346 \cdot V^2 + 0{,}0168 \cdot W^2 - 0{,}792 \cdot W, \qquad (4.1)$$

где V – рабочая скорость движения посевного агрегата;

W – уровень увлажнения почвы.

Уравнение имеет высокую значимость ($R^2 = 0{,}94$) и будет являться базовым для обоснования рациональных параметров посевного агрегата с анкерными рабочими органами при работе в условиях различной степени увлажнения почв.

В графическом виде поверхность отклика от исследуемых факторов приведена на рисунках 4.1 и 4.2.

Рисунок 4.1 – Поверхности отклика расхода топлива в зависимости от влажности почвы и рабочей скорости движения посевного агрегата, оборудованного анкерными сошниками

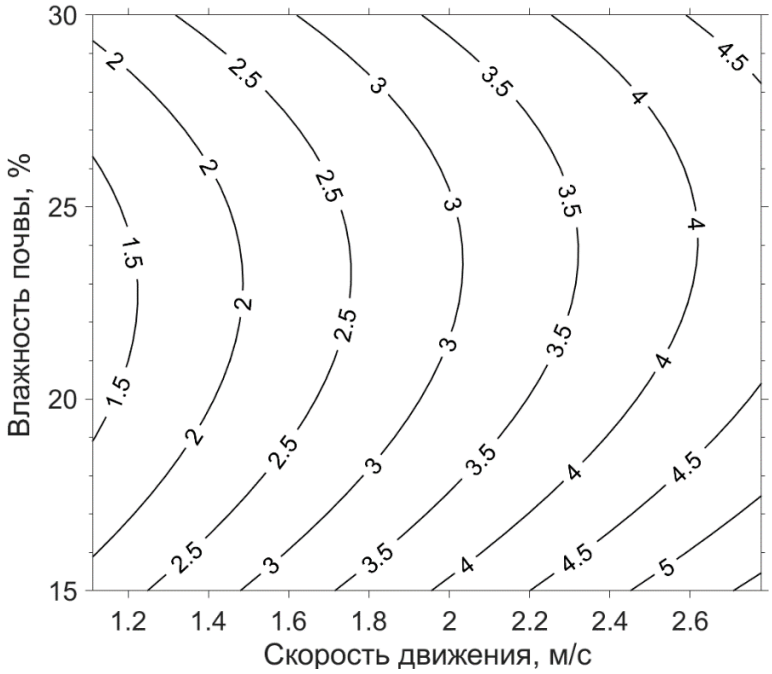

Рисунок 4.2 – Сечение поверхности отклика расхода топлива в зависимости от влажности почвы и рабочей скорости движения посевного агрегата, оборудованного анкерными сошниками

Для посевного агрегата с лаповыми сошниками:

$$Gt = 14{,}204 + 0{,}422 \cdot V^2 + 0{,}025 \cdot W^2 - 1{,}171 \cdot W. \qquad (4.2)$$

Уравнение также имеет высокую значимость (R^2 = 0,94) и является базовым для обоснования рациональных параметров посевного агрегата с лаповыми рабочими органами при работе в условиях различной степени увлажнения почв.

В графическом виде поверхность отклика от исследуемых факторов приведена на рисунке 4.3 и 4.4.

Рисунок 4.3 – Поверхности отклика расхода топлива в зависимости от влажности почвы и рабочей скорости движения посевного агрегата, оборудованного лаповыми сошниками

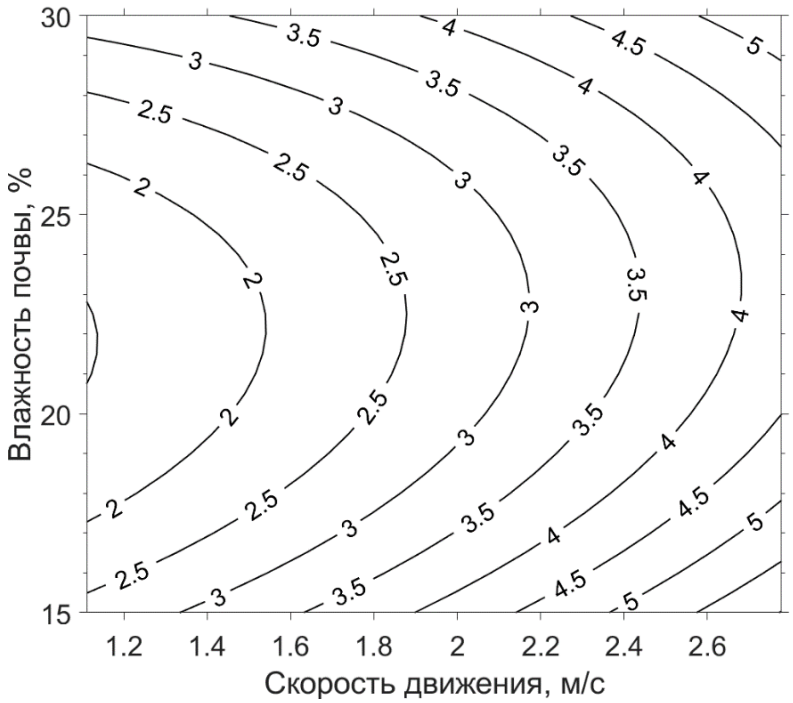

Рисунок 4.4 – Сечение поверхности отклика расхода топлива в зависимости от влажности почвы и рабочей скорости движения посевного агрегата, оборудованного лаповыми сошниками

Анализ данных графиков показал, что при изменении рабочей скорости движения расход топлива изменяется квадратично, но всё же следует отметить, что данная зависимость близка к линейной.

В свою очередь, зависимость расхода топлива от уровня увлажнения почвы квадратичная и имеет вид ярко выраженной параболы со сдвигом вдоль оси абсцисс.

В качестве ограничений в расчетах принят диапазон допускаемых уровней влажности и рабочих скоростей движения агрегата по агротехническим требованиям. Данные поверхности отклика позволяют определять расход топлива посевного агрегата с лаповым или анкерным сошником в диапазоне рабочей скорости движения 4-10 км/ч (1-3 м/с) и влажности почвы 15-30%.

При нахождении экстремума функции с двумя переменными было выявлено, что оптимальным уровнем увлажнения почвы, при котором расход топлива будет минимальным является влажность почвы 23,6 % для посевного агрегата с анкерным сошником и 23,4 % с лаповым.

Таким образом, степень увлажнения почвы и скоростной режим работы агрегата являются наиболее значимыми факторами, влияющими на затраты топлива при посеве.

Отклонение влажности почвы от оптимума как в сторону увеличения, так и снижения, приводит к существенному росту энергозатрат на посев. Рабочая скорость движения посевного агрегата также оказывает значимое влияние на расход топлива двигателя трактора, конкретно расход топлива возрастает с повышением рабочей скорости движения. У посевного агрегата с анкерными сошниками энергозатраты на посев существенно ниже, чем у лапового, при меньшей интенсивности прироста с увеличением рабочей скорости движения, данный факт объясняется меньшей площадью сопротивления анкерных сошников.

Исходя из вышеизложенного установлено, что уровень влажности почвы и скоростные режимы работы посевных агрегатов являются значимыми факторами, оказывающими влияние на энергозатраты при посеве.

На основе полученных зависимостей, в дальнейшем выполнялось обоснование рациональных параметров и режимов работы посевного агрегата.

4.2 Сходимость теоретических и экспериментальных исследований

По результатам реализации плана эксперимента была проведена сравнительная оценка данных теоретических и экспериментальных исследований. В графическом виде полученные зависимости расхода топлива тракторного двигателя от уровня влажности почвы при работе анкерного и лапового сошника на различных скоростях движения.

Для проверки адекватности полученной математической модели работы посевного агрегата в условиях различного увлажнения почв на графики (Рис. 4.5-4.6) были помещены теоретические кривые описывающие зависимость расхода топлива от уровня увлажнения почвы на различных скоростях движения.

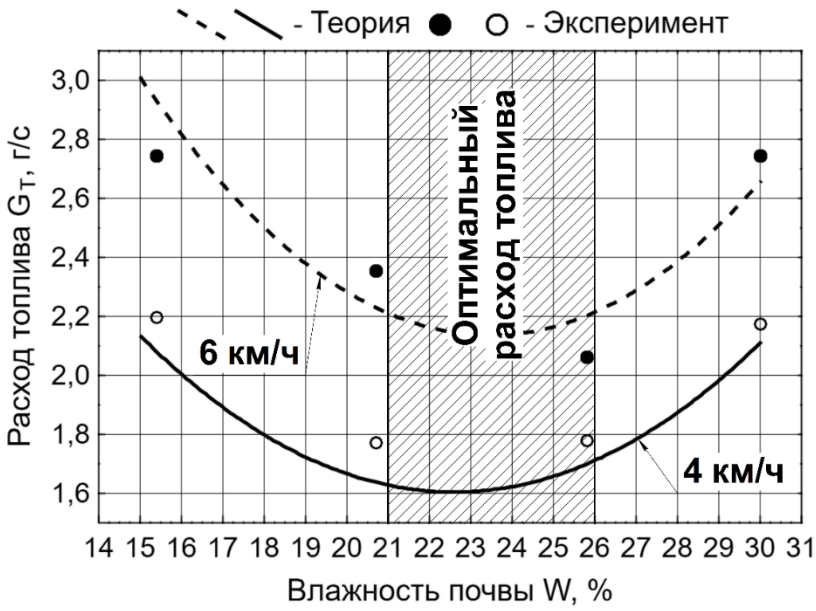

Рисунок 4.5 – Влияние влажности почвы на расход топлива анкерного посевного агрегата на рабочих скоростях движения 4 и 6 км/ч

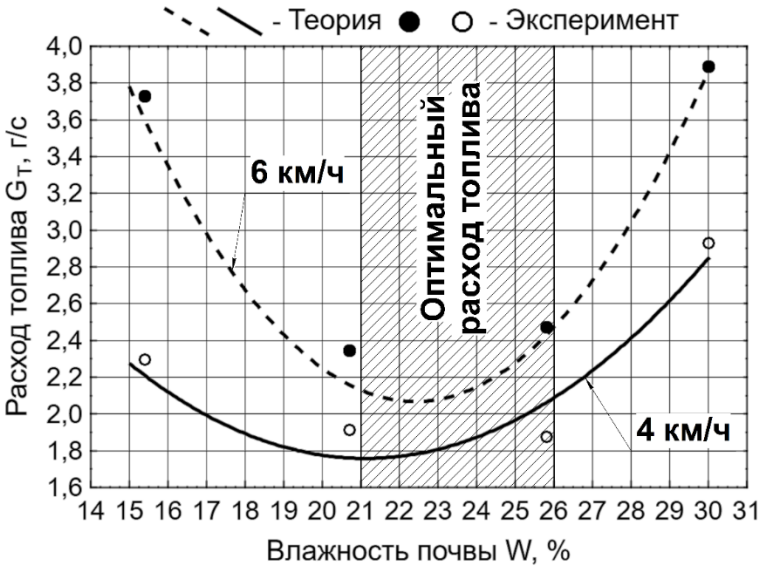

Рисунок 4.6 – Влияние влажности почвы на расход топлива лапового посевного агрегата на рабочих скоростях движения 4 и 6 км/ч

Анализ зависимостей показывает, что с увеличением влажности почвы с 15-30% расход топлива анкерного посевного агрегата изменяется в диапазоне 1,6-2,1 г/с при работе на рабочей скорости движения 4 км/ч и в диапазоне 2,15-3 г/с на скорости 6 км/ч. Также установлено, что с увеличением влажности почвы с 15-30% расход топлива лапового посевного агрегата изменяется в диапазоне 1,77-2,8 г/с при работе на рабочей скорости движения 4 км/ч и в диапазоне 2-3,8 г/с на скорости 6 км/ч.

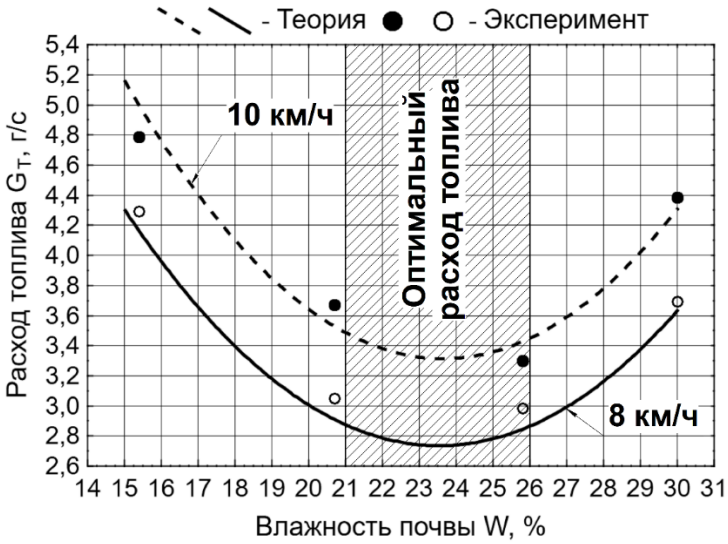

Рисунок 4.7 – Влияние влажности почвы на расход топлива анкерного посевного агрегата на рабочих скоростях движения 8 и 10 км/ч

Проведенный анализ показывает, что с увеличением влажности почвы с 15-30% расход топлива анкерного посевного агрегата изменяется в диапазоне 2,7-4,3 г/с при работе на рабочей скорости движения 8 км/ч и в диапазоне 3,3-5,1 г/с на скорости 10 км/ч.

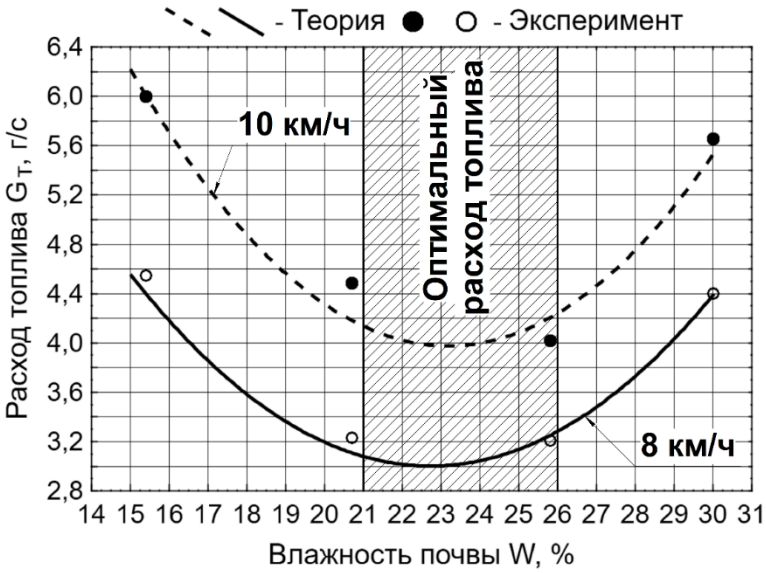

Рисунок 4.8 – Влияние влажности почвы на расход топлива лапового посевного агрегата на рабочих скоростях движения 8 и 10 км/ч

В результате выявлено, что с увеличением влажности почвы с 15-30% расход топлива лапового посевного агрегата изменяется в диапазоне 3-4,5 г/с при работе на рабочей скорости движения 8 км/ч и в диапазоне 4-6,2 г/с на скорости 10 км/ч.

Совмещение теоретических и экспериментальных кривых показывает, что максимальное расхождение относительно диапазона изменения расхода топлива тракторного двигателя при работе посевного агрегата, оборудованного анкерными либо лаповыми сошниками на рабочих скоростях движения 4, 6, 8, 10 км/ч не превышает 5%. Данный факт свидетельствует о высокой сходимости результатов теоретических расчетов и экспериментальных данных.

4.3 Результаты проведения агротехнической оценки посевного агрегата

Глубина заделки семян является одним из ниболее значимых агротехнических требований оказывающих определяющее влияние на урожайность зерновых культур.

Для оценки, нами была принята величина стандартных отклонений, поскольку она наиболее объективно отражает логику процесса и позволяет увидеть на сколько значения отличаются от среднего.

В период посевной, на множестве полей, в разных фермерских хозяйствах степной зоны Алтайского края, для оценки состояния влагозапасов перед будущим

сезоном, проводились замеры влажности почвы в метровом слое. После посева, на этих же полях проводились определения глубины заделки и количества растений на 1 м^2 для оценки качества посева.

В условиях различной влажности почвы, которая значительно отличалась и варьировалась в диапазоне 12-35%, на основании четырёхлетних данных (2018-2021 гг. полученых совместно с В.И. Беляевым), был проведен анализ стандартных отклонений глубины заделки семян после посева агрегатами с анкерными и лаповыми сошниками.

Поскольку выборка была очень обширной и составляла около четырёхсот замеров, была построена диаграмма рассеяния стандартных отклонений от глубины заделки семян после посева анкерными и лаповыми сошниками.

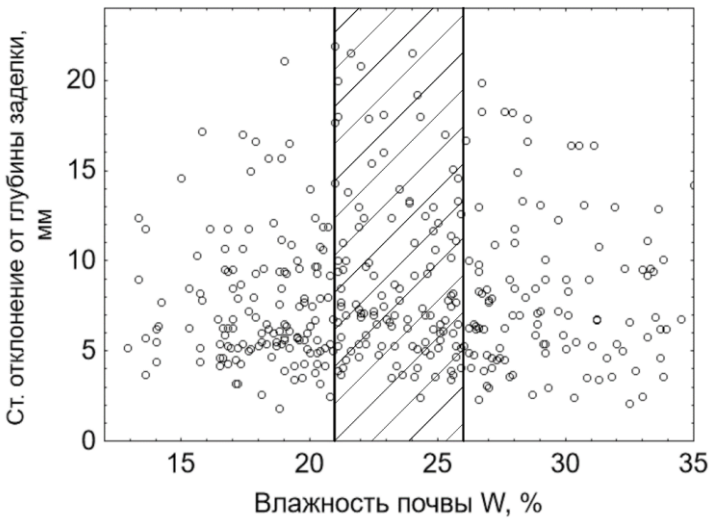

Рисунок 4.9 – Зависимость отклонений глубины заделки от влажности почвы

Из диаграммы рассеяния (Рис. 4.8) видно, что отклонения от глубины варьируются в диапазоне 2-25 мм. В данном случае является небходимым определить в какую влажность почвы чаще всего проводили посев в период с 2018-2021 годы. Поскольку на основании многолетних данных известно, что вариабельность влажности почвы в поверхностном слое 0-10 см в рамках одного хозяйства в среднем составляет от 10-15%, а энергетическим оптимальным уровнем является 23,5%, был рассмотрен данный диапазон, который включает в себя 127 случаев и указан на гистограмме как оптимальный (Рис 4.9).

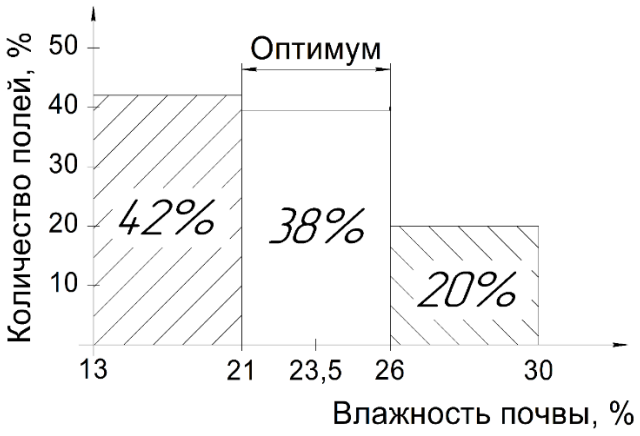

Рисунок 4.10 – Количество полей хозяйств по влажности почвы на момент посева

Для объективной оценки зависимости отклонений по глубине от влажности почвы по типу сошника, выборки были группированы по интервалам, в результате чего были получены зависимости, которые представлены на графиках (Рис. 4.11 и 4.12)

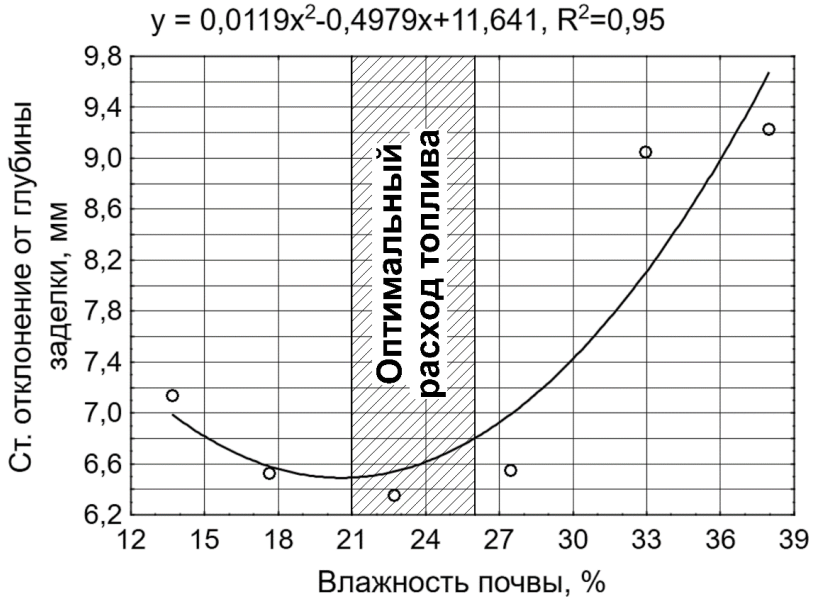

Рисунок 4.11 – Зависимость отклонений глубины заделки семян от влажности почвы после посева анкером

После посева агрегатами, оборудованными анкерными рабочими органами в диапазоне влажности почвы 12-39 % отклонения от глубины заделки изменялись от 6 до 10 мм (Рис. 4.8). Соответствующее агротехническим требованиям ± 10 мм,

минимальное значение отклонений при средней глубине заделки семян равной 60 мм находится на уровне влажности почвы 21% и составляет 6,4 мм.

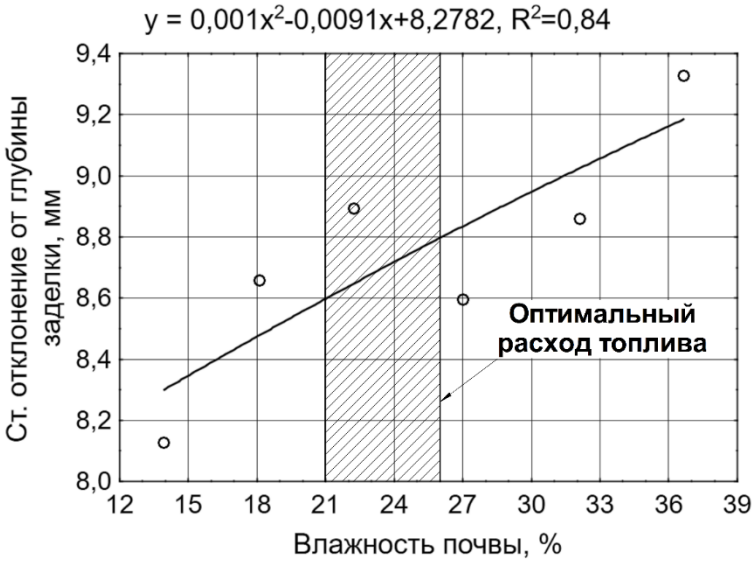

Рисунок 4.12 – Зависимость отклонений глубины заделки семян от влажности почвы после посева лапой

После посева агрегатами, оборудованными лаповыми рабочими органами в диапазоне влажности почвы 12-36%, отклонения от глубины заделки изменялись от 8 до 9,5 мм (Рис. 4.9).

Установлено, что логика изменения распределений семян по глубине заделки характеризуемая её стандартными отклонениями значительно отличается при сравнении по двум типам рабочих органов. При посеве анкерным сошником наименьшее отклонение изменяется в диапазоне влажности 12-40 %, при посеве лаповым сошником наименьшее значение отклонений находится на уровне влажности 12-36%.

Исходя из данных графиков следует то, что стандартное отклонение глубины заделки в данных случаях находится в пределах изменений агротехнических требований ± 10 мм.

4.4 Практическое использование результатов исследования

На основании проведенных нами теоретических и экспериментальных исследований, было установлено, что уровень увлажнения почвы и тип выбранного рабочего органа, которым оборудована сеялка оказывают значительное влияние на величину расход топлива тракторного двигателя посевного агрегата и агротехнические требования, предъявляемые к посеву зерновых культур.

Результаты исследований были внедрены в производственный процесс предприятий ООО КХ «Партнёр» Михайловского района и ООО «Агроцентр», а также используются в учебном и научно-исследовательском процессах ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет».

На основании результатов исследований были разработаны рекомендации производству направленные на повышение эффективности посева зерновых культур в условиях различного увлажнения почв:

1. Необходимо приобретать сеялки и посевные комплексы на основании объективной оценки опыта реальной эксплуатации в условиях функционирования максимально приближенных к тем, где будет работать приобретаемое орудие.

2. Энергетически оптимальный уровень влажности почвы при работе сеялок с анкерными сошниками составляет 23, 6%, с лаповыми 23,4%.

3. В период посевной, почва зачастую не достигает физической спелости, в данных условиях, лаповые и дисковые сеялки работать не могут, поскольку на них налипает почва и возрастает тяговое сопротивление, в следствие чего повышается расход топлива и снижается качество посева. Поэтому, предприятиям рекомендуется иметь в наличие сеялки с анкерными сошниками, благодаря меньшей площади сопротивления данные рабочие органы испытывают меньшее тяговое сопротивление и позволяют продолжить посев в условиях повышенного увлажнения почвы. Мелкие и средние предприятия, которые финансово не могут позволить себе иметь в наличии несколько или более сеялок с различным типом сошника, рекомендуется приобретать сеялки и посевные комплексы с возможностью переоборудования рабочих органов.

4.5 Выводы по главе

1. Установлено, что степень увлажнения почвы и скоростной режим работы агрегата являются наиболее значимыми факторами, влияющими на затраты топлива при посеве.

2. Энергетически оптимальным уровнем влажности почвы при работе посевного агрегата с анкерными сошниками составляет 23,6%, а с лаповыми сошниками 23,4%.

3. Величина расхода топлива двигателя трактора при работе в составе посевного МТА, оборудованного анкерными сошниками на 15-20% ниже, чем стрельчатыми лапами.

4. Установлено, что после посева агрегатами, оборудованными анкерными сошниками в диапазоне влажности почвы 12-39 % отклонения от глубины заделки изменялись от 6 до 10 мм. После посева агрегатами, оборудованными лаповыми сошниками в диапазоне влажности почвы 12-36%, отклонения от глубины заделки изменялись от 8 до 9,5 мм. Исходя из этого следует, что стандартные отклонения глубины заделки в данных случаях находится в пределах изменений агротехнических требований $\pm$ 10 мм.

5. В соответствии с тем, что вариабельность влажности почвы в слое 0-10 см на полях отдельно взятого хозяйства в период посевной составляет 10-15%, а средним энергетически оптимальным уровнем влажности почвы, при которой расход топлива тракторного двигателя посевных агрегатов с анкерными и лаповыми сошниками будет минимальным является 23,5%, определен оптимальный диапазон влажности почвы 21-26%. Значение уровня влажности почвы, при котором лучше всего соблюдается заданная глубина заделки семян для анкерного сошника составляет 21%, что совпадает с энергетически оптимальным диапазоном. Для лапового сошника такой уровень отсутствует, поскольку отклонения глубины заделки относительно влажности изменяется линейно.

ГЛАВА 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОСЕВНОГО АГРЕГАТА

Оценка технико-экономических показателей результатов исследований проводилась в соответствии с ГОСТ 23728-88 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки»

Величина затрат на топливо-смазочные материалы определяется следующей формуле [5]:

$$С_{тсм} = g_{ті} \cdot Ц_т \cdot К_{см.м}, \qquad (5.1)$$

где $g_{ті}$ – удельный расход топлива;

$Ц_т$ – цена топлива;

$К_{см.м}$ – коэффициент, учитывающий цену смазочных материалов.

Затраты на заработную плату определяются следующей формулой [5]:

$$C_{зп} = \frac{З_{час}}{W \cdot K_э \cdot 0{,}36}, \qquad (5.2)$$

где $З_{час}$ – часовая тарифная ставка;

W – чистая производительность;

Амортизационные затраты определяются следующей формулой [5]:

$$С_а = \frac{1}{W_{Кэі}} \sum_{j=1}^{n_м} \frac{Б_{мj}}{R_{мj}} \cdot 10^{-4}, \qquad (5.3)$$

где $R_{мj}$ – значение амортизационного ресурса j – й техники;

$Б_{мj}$ – цена j – й техники без НДС;

$n_м$ – количество единиц техники, входящей в машинно-тракторный агрегат.

Затраты на ремонт машинно-тракторного агрегата определяются по следующей формуле [5]:

$$С_р = \frac{\sum_{j=1}^{n_м} Б_{мj} \cdot K_{рj}}{W_{экі}} \cdot 10^{-4}, \qquad (5.4)$$

где $К_{рj}$ – процент отчислений на ремонт и ТО от цены j – й техники на 100 ч работы;

$W_{экi}$ – производительность j – й техники на i – м виде работы за 1 час эксплуатации.

Приведенные затраты рассчитываются по следующей формуле [5]:

$$С_{пр} = С_{тсм} + С_{зп} + С_{а} + С_{р} + К_{уд} \cdot Е_{н}, \quad (5.5)$$

Эксплуатационные затраты рассчитываются по следующей формуле [5]:

$$С_{эксп} = С_{тсм} + С_{зп} + С_{а} + С_{р}, \quad (5.6)$$

Результаты расчёта выходных показателей работы посевных агрегатов были сведены в таблицу:

Таблица 5.1

Выходные показатели рациональных посевных агрегатов

Nен, кВт	gга, кг/га	Wч, га/ч	Vр, м/с	Вр, м	$С_{тсм}$, руб/га	$С_{зп}$, руб/га	$С_{а}$, руб./га	Сг, руб/га	Куд. Ен, руб/га	Спр, руб/га	Сэк, руб/га
1. С анкерным сошником											
250	4,79	9,47	2,77	9,5	239	16	1219	890	1963	4325	2362
2. С лаповым сошником											
250	5,42	8,37	2,5	9,3	271	18	1486	1083	2407	5265	2858

В таблице 5.1 приведены несколько агрегатов, которые были подобраны на базе трактора New Holland T.8 410 и посевного комплекса Кузбасс. относительно оптимального уровня влажности почвы с точки зрения энергетики в момент посева, найденного из уравнений (4.1, 4.2), а также агротехнических требований к посеву и ресурсосберегающим технологиям возделывания зерновых культур на базе.

Согласно данным производителя посевных агрегатов Concord, Bourgault и построенных на их базе комплексов серии Кузбасс их рабочая скорость при посеве зерновых культур машинами оборудованными анкерными сошниками может варьироваться от 2,22 до 3,8 м/с, лаповыми от 2,22 до 2,77 м/с при строгом ограничении агротехническими требованиями максимального значения диапазона соответственно. Подобранные нами агрегаты соответствуют данным рекомендациям и требованиям.

В связи с тем, что специфика данного исследования предполагала взаимозаменяемость рабочих органов анкерного и лапового на одном посевном комплексе и была направлена на повышение эффективности работы предприятий с учетом имеющихся на балансе машин и агрегатов и наименьшими затратами, два анализируемых агрегата были сформированы на базе одного трактора мощностью 250 кВт.

Наименьшая производительность (8,37 га/ч) и высокие эксплуатационные затраты (2858,7 руб./га) наблюдаются при анализе агрегата с посевным комплексом лапового типа в сцепке с посевным агрегатом типа Кузбасс с рабочей шириной захвата 9,3 метра.

Наибольшая производительность (9,47 га/ч) и низкие эксплуатационные затраты (2362,6 руб./га) наблюдаются при анализе агрегата с посевным комплексом анкерного типа в сцепке с посевным агрегатом типа Кузбасс с рабочей шириной захвата 9,5 метра.

На основании проведенного анализа установлено, что такие параметры трактора как эксплуатационная масса, мощность двигателя, ширина захвата посевного комплекса в значительной мере определяют выходные показатели его работы (производительность, топливную экономичность и эксплуатационные затраты). В этой связи, наблюдается увеличение производительности и снижение эксплуатационных затрат при использовании посевного комплекса, оборудованного анкерными сошниками, что представляется возможным за счет меньшей площади сопротивления рабочих органов, в таком случае можно варьировать рабочую скорость агрегата и ширину захвата в сторону максимального значения диапазона, ограниченного как агротехническими требованиями к посеву, так и мощностными характеристиками тяговой машины.

Применение трактора New Holland T8. 410 в сцепке с посевным агрегатом Кузбасс-А шириной захвата 9,5 метров является наиболее рациональным МТА по величине эксплуатационных затрат.

При условии эксплуатации посевных агрегатов в изменяющихся условиях увлажнения, необходимо выбирать тот или иной тип сошника как с точки зрения

энергетики, так и агротехники процесса. Поэтому был просчитан вариант использования посевных агрегатов в соответствии с данными производству рекомендациями. В первом случае, когда предприятие имеет возможность приобретать два посевных комплекса с разным типом сошников, инвестиционные затраты на покупку двух наиболее распространенных посевных комплексов Кузбасс-А 10,7 и Кузбасс ПК 9,7 будут составлять 11 260 000 рублей. Во втором случае, когда будет приобретаться только Кузбасс ПК 9,7 и оснащаться комплектом переоборудования сошников с анкерных на лаповые, инвестиционные затраты составят 6 021 550 рублей, что выгоднее относительно первого на 5 238 450 рублей. В случае же когда предприятие уже имеет в наличии какой-либо посевной комплекс средняя стоимость его переоборудования будет составлять 571 550 рублей, что будет наиболее выгодным вариантом.

В соответствии с тем, что вариабильность влажности почвы в поверхностном слое 0-10 см в рамках одного хозяйства в среднем составляет 10-15%, а энергетическим оптимальным уровнем является 23,5%, в данном диапазоне влажности почвы 21-26% в условиях реальной эксплуатации работает 38% агрегатов при среднем расходе топлива 2,6 г/с. В диапазоне влажности 13-21% средний расход составляет 3,6 г/с, в диапазоне 26-30% расход составляет 3,2 г/с. Средневзвешенный расход топлива составляет 3 г/с, и превышает оптимальный на 0,5 г/с, в соответствии с этим работая вне данной влажности почвы расход топлива повышается. В таком случае за одну посевную при повышении вероятности работы в оптимальном диапазоне влажности почвы, экономия топлива составит порядка 0,8 тонн дизельного топлива.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Анализ технологий возделывания зерновых культур в Алтайском крае показывает, что наблюдается тенденция увеличение доли ресурсосберегающих технологий. В настоящее время технологии прямого посева применяется более чем на 50% посевных площадей. Наиболее распространенными типами сошников сеялок в степной зоне края являются анкерный и лаповый.

2. Полученные теоретические зависимости, позволяют определять тяговое сопротивление анкерного и лапового сошников в зависимости от их геометрических параметров и уровня влажности почвы.

3. Обоснована взаимосвязь тягового сопротивления и часового расхода топлива тракторного двигателя. Приведен алгоритм расчёта тягового сопротивления в конкретный момент работы посевного агрегата, при наличии данных о расходе топлива тракторного двигателя в этот момент, что позволяет оценивать усилие, затрачиваемое на работу МТА, по известным значениям часового расхода топлива и упрощает процесс энергетической оценки.

4. Усовершенствованная математическая модель энергетической оценки посевных агрегатов позволяет обосновывать параметры и режимы их работы в условиях различной влажности почвы (15-30%) по расходу топлива.

5. Получены значения коэффициентов, учитывающие влияние влажности почвы на интенсивность прироста расхода топлива тракторного двигателя для агрегатов с лаповыми и анкерными сошниками (0,59-1,00 и 0,49-1,00 соответственно). А также коэффициенты, учитывающие прирост расхода топлива на самопередвижение агрегатов (0,77-1,41 и 0,78-1,08 соответственно).

6. Установлено, что влажность почвы, тип сошника посевного агрегата и его рабочая скорость движения являются высоко значимыми факторами, определяющими рациональные составы посевных агрегатов. Энергетически оптимальным уровнем влажности почвы при работе посевного агрегата с анкерными сошниками является 23,6%, с лаповыми – 23,4%. Величина расхода топлива двигателя трактора

при работе в составе посевного агрегата, оборудованного анкерными сошниками на 3-5% ниже, чем с лаповыми.

7. Установлено, что после посева агрегатами, оборудованными анкерными сошниками в диапазоне влажности почвы 12-39 % отклонения от глубины заделки изменялись от 6 до 10 мм. После посева агрегатами, оборудованными лаповыми сошниками в диапазоне влажности почвы 12-36%, отклонения от глубины заделки изменялись от 8 до 9,5 мм. Исходя из этого следует, что все отклонения от глубины заделки после посева данными сошниками находятся в допустимых пределах изменений агротехнических требований, которые составляют ± 10 мм. В соответствии с тем, что вариабельность влажности почвы в слое 0-10 см на полях отдельно взятого хозяйства в период посевной составляет 10-15%, а средним энергетически оптимальным уровнем влажности почвы, при котором расход топлива тракторных двигателей посевных агрегатов с анкерными и лаповыми сошниками будет минимальным является 23,5%, определен оптимальный диапазон влажности почвы 21-26%. Значение уровня влажности почвы, при котором лучше всего соблюдается заданная глубина заделки после посева анкерными сошниками составляет 21% и попадает в энергетически оптимальный диапазон. В случае с лаповыми сошниками такое значение отсутствует, поскольку зависимость глубины заделки от влажности почвы близка к линейной.

8. Определено, что наибольшая производительность (9,47 га/ч) и низкие эксплуатационные затраты (2362,6 руб./га) получены при агрегатировании трактора с посевным комплексом анкерного типа шириной захвата 9,5 м. Для возможности взаимозаменяемости посевных комплексов по типу сошника при изменении влажности почвы в период посевной, были предложены варианты комплектования агрегатов. Стоимость двух посевных комплексов с разными типами сошников (анкерный и лаповый) будет составлять 11,2 млн. рублей. Стоимость одного комплекса и комплекта переоборудования взаимозаменяемых сошников (анкерный и лаповый) 6,1 млн. рублей. Переоборудование одного уже имеющегося у предприя-

тия комплекса будет составлять 571 тыс. рублей, что будет наиболее выгодным вариантом инвестиционных затрат. Внедренная в ООО КХ «Партнер» и ООО «Агроцентр» методика обоснования рациональных параметров и скоростных режимов работы посевных агрегатов при эксплуатации в диапазоне влажности почвы 15-30% позволяет повысить производительность посевных агрегатов на 6-11%, снизить величину погектарного расхода топлива на 4-9%. При работе посевных агрегатов с любым типом сошника в оптимальном уровне влажности почвы, экономия топлива на один агрегат составляет 0,8 тонн или 49724 рубля за посевную.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 20915-2011 Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. - ФГНУ «РосНИИТиМ», 2013. - 24 с.

2. ГОСТ 30745-2001 Тракторы сельскохозяйственные. Определение тяговых показателей. – «ИПК Издательство стандартов», 2001. - 12 с.

3. ГОСТ 31345-2007 Сеялки тракторные. Методы испытания. - ФГНУ «РосНИИТиМ», 2009. - 53 с.

4. ГОСТ 31345-2017 Техника сельскохозяйственная. Сеялки тракторные. Методы испытаний. - ФГУП «Стандартинформ», 2018. - 53 с.

5. ГОСТ 34393-2018 Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. - ФГУП «Стандартинформ», 2018. - 16 с.

6. ГОСТ Р 54783-2011 Испытания сельскохозяйственной техники. - ФГНУ «РосНИИТиМ», 2012. - 20 с.

7. ГОСТ 24026-80 «Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения».

8. ГОСТ 20793-2009 «Тракторы и машины сельскохозяйственные. Техническое обслуживание.»

9. Агеев Л.Е., Шкрабак В.С., Моргулис-Якушев В.Ю. Сверхмощные тракторы сельскохозяйственного назначения. - Л: Агропромиздат, 1986. - 415 с.

10. Агеев Л.Е. Основы расчета оптимальных и допускаемых режимов работы машинно-тракторных агрегатов. - Л: Колос, 1978

11. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. - М: Наука, 1971. - 270 с.

12. Альт В.В., Чекусов М.С., Исакова С.П., Балушкина Е.А. Гносеологические основы использования цифровых технологий в сельском хозяйстве Сибири // Сельскохозяйственные машины и технологии. - 2021. - №1. - С. 16-23.

13. Амантаев М.А, Агротехнические показатели работы рабочих органов сеялки для прямого посева зерновых культур / М.А. Амантаев // Научное обеспечение ре-

ализации государственных программ АПК и сельских территорий: материалы международной научно-практической конференции Курской ГСХА. - 2017. - С. 365-369.

14. Антипин В.П., Дурманов М.Я, Каршев Г.В. Производительность, энергозатраты и ресурс машинно-тракторного агрегата. - СПб: Издательство Политехнического университета, 2017. - 484 с.

15. Астафьев В.Л, Статистические характеристики урожайности при различных способах посева зерновых культур стерневыми сеялками / В.Л. Астафьев, А.А. Курач // Вестник челябинской государственной агроинженерной академии. - 2014. - № 69. - С. 5-9.

16. Адуов М.А., Капов С.Н., Каспаков Е.Ж. Модель процесса взаимодействия клина с почвой // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. - 2009. - №4. - С. 238-245.

17. Бабицкий Л.Ф. Обоснование конструкции почвообрабатывающе-посевной машины адаптерного типа для фермерских хозяйств / Л.Ф. Бабицкий, В.А. Лузин, В.Ю. Москалевич // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. - 2017. - №10 (173). - С. 54-61.

18. Бабицкий Л.Ф. Энергетические показатели почвообрабатывающих рабочих органов с различной формой наплавки режущих частей / Л.Ф. Бабицкий, В.Ю. Москалевич // Вісник українського відділення міжнародної академії аграрної освіти. - 2018. - №6. - С. 21-27.

19. Бабицкий Л.Ф. Обоснование параметров рабочих органов почвообрабатывающих машин для минимальной обработки почвы / Л.Ф. Бабицкий, И.В. Соболевский // Агробиологические основы адаптивно-ландшафтного ведения сельскохозяйственного производства. - Симферополь: КФУ им. В.И. Вернадского, 2018. - С. 99-104.

20. Баженов, С.П. Бесступенчатые передачи тяговых и транспортных машин: учеб. пособ. / С.П. Баженов. – Липецк: ЛГТУ, 2003. – 81 с. 23.

21. Бахтин П.У. Динамика физико-механических свойств почв в связи с вопросами их обработки // Сб. трудов. - М: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1954

22. Бахтин П.У. Исследования физико-механических и технологических свойств основных типов почв СССР. - М: Колос, 1969. - 272 с.

23. Беляев В.И Комплексная оценка эффективности применения различных рабочих органов плоскорезов глубокорыхлителей // Механизация технологических процессов в сельском хозяйстве и перерабатывающей промышленности. - Барнаул: АСХИ, 1997. - С. 123-129.

24. Беляев В.И, Перспективные агротехнологии производства зерна в Алтайском крае / В.И. Беляев, Л.В. Соколова // Вестник алтайского государственного аграрного университета. - 2018. - № 4 (162). - С. 5-12.

25. Беляев В.И. Основы оптимизации системы машин для обработки почвы в растениеводстве // Рациональное использование и ремонт сельскохозяйственной техники. - Барнаул: АСХИ, 1990. - С. 23-27.

26. Беляев В.И. Повышение эффективности обработки почвы и посева зерновых культур при использовании перспективных машинно-тракторных агрегатов специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации ельского хозяйства»: автореф. дис. докт. техн. наук / Беляев Владимир Иванович; Алтайский ГАУ. – Барнаул, 2000. 44 с.

27. Беляев В.И., Алдошин Н.В. Сравнительная оценка технологий возделывания сельскохозяйственных культур // Сб. статей по итогам IIМеждународной научно-практической конференции "Горячкинские чтения", посвященной 150-летию со дня рождения академика В.П. Горячкина. - Москва, 2019. - С. 18-22.

28. Беляев В.И., Беляев Д.В. Теоретическое обоснование эксплуатационных параметров и режимов работы почвообрабатывающих посевных агрегатов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. - 2007. -№ 9 (35). - С. 49-51.

29. Беляев В.И., Коваль И.Н. Обоснование критерия эффективности использования почвообрабатывающих агрегатов // Повышение эффективности ремонта и эксплуатации сельскохозяйственной техники. - Барнаул: АСХИ, 1988. - С. 42-46.

30. Беляев В.И., Майнель Т., Рудев Н.В., Грюнвальд Л., Соколова Л.В., Кузнецов В.Н., Мацюра А.В. Влияние ширины междурядья и нормы высева семян на урожайность сельскохозяйственных культур при возделывании по технологии «No-Till» в условиях Кулундинской степи Алтайского края. –Ukrainian Journal of Ecology, 2019, 9 (3). - С. 336-339.

31. Беляев В.И., Наливкин И.И., Зыга Ю.С. Влияние рабочей скорости движения посевного комплекса Amity на показатели качества посева яровой пшеницы и урожай // Вестник АГАУ. - 2010. - №8 (70). - С. 68-72.

32. Беляев В.И., Соколова Л.В. Перспективные агротехнологии производства зерна в Алтайском крае // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. - 2018. - № 4 (162). - С. 5-11.

33. Беляев В.И., Сравнительная технико-экономическая оценка посевных агрегатов точного высева на базе тракторов «Кировец» / В.И. Беляев, Р.Н. Бачурин, Д.А. Яковлев // Вестник алтайского государственного аграрного университета. - 2020. - №8 (190). - С. 115-118.

34. Беляев, В. И. Оценка тяговых энергозатрат посевного комплекса «Кузбасс» при различных рабочих скоростях движения / В. И. Беляев, Д. А. Яковлев. – Текст: непосредственный // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник материалов: в 2 кн. / XIV Международная научно-практическая конференция (7-8 февраля 2019 г.). – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2019. – Кн. 2. – С. 13-15.

35. Беляев, В.И., Перспективы применения технологий прямого посева в Алтайском крае / А.А. Хижников, Д. А. Яковлев // Аграрная наука - сельскому хозяйству: сборник материалов: в 2 кн.: XIV Международная научно-практическая конференция (7-8 февраля 2019 г.). – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2019. – Кн. 2. – С. 12-15.

36. Беляев В.И., Вольнов В.В., Соколова Л.В Прямой посев зерновых культур в Алтайском крае: Совершенствование Агротехнологий, системы машин и обоснование рациональных параметров. - Барнаул: Алтайский ГАУ, 2020. - 167 с.

37. Бережнов Н.Н., Сырбаков А.П. Обоснование параметров и режимов работы посевного почвообрабатывающего комплекса на примере ПК "КУЗБАСС-Т" // Агроэкоинфо. - 2017. - №1 (27). - С. 11.

38. Бережнов Н.Н. Полевые испытания посевного почвообрабатывающего комплекса «Кузбасс» // Сельский механизатор. - 2017. - №12. - С. 8-9.

39. Блынский Ю.Н. Методические подходы к выбору технологий и технических средств при производстве зерна в условиях Сибири / Ю.Н. Блынский, Б.Д. Докин, О.В. Ёлкин, Н.М. Иванов, В.Л. Мартынова // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. - 2016. - № 2 (249). - С. 105-109.

40. Блынский, Ю.Н., Проектирование производственных процессов в растениеводстве. Новосибирск: НГАУ, 2019. – 278 с.

41. Болоев П.А, Ресурсосберегающие технологии возделывания зерновых культур в условиях Восточной Сибири / П.А. Болоев, С.Н. Шуханов, Г.Н. Поляков // Аграрный научный журнал Саратовского ГАУ. - 2015. - № 10. - С. 31-34.

42. Болоев, П. А. Оценка глубины заделки семян зерновых культур посевными комплексами / П. А. Болоев, Г. Н. Поляков, С. Н. Шуханов. // Пермская ГСХА: Пермский аграрный вестник. – 2016. – № 1 (13). – С. 45-50.

43. Бродский В.З., Бродский Л.И., Голикова Т.И., Никитина Е.П., Панченко Л.А., Таблицы планов эксперимента для факторных и полиноминальных моделей. - М: Металлургия, 1982. - 750 с.

44. Булавинцев Р.А, Анализ конструкций сошников современных сеялок для прямого посева сельскохозяйственных культур / Р.А. Булавинцев // Агротехника и энергообеспечение: Орловский ГАУ. - 2018. - № 2 (19). - С.85-91.

45. Бураев, М. К. Влияние уровня производственно-технической эксплуатации на техническое состояние машин и периодичность их обслуживания / М. К. Бураев, И. В. Оловников, П. И. Ильин. // Вестник ИрГСХА. – 2009. – № 35. – С. 64-74.

46. Бураев, М. К. Комплексный подход к обеспечению работоспособности машинно-тракторного парка / М. К. Бураев. // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2006. – № 8. – С. 2-5.

47. Бураев, М. К. Повышение работоспособности тракторов в сельском хозяйстве / М. К. Бураев. и др. // Вестник ВСГУТУ. – 2015. – № 6. – С. 20-25.

48. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. - 3-е изд. - М.: Колос, 1973. – 199 с. 16.

49. Веденяпин Г.В., Киртбая Ю.К., Сергеев М.П. Эксплуатация машинно-тракторного парка. - М.: Колос, 1968

50. Винарский М.С., Лурье М.В. Планирование эксперимента в технологических исследованиях. - Киев: Техника, 1975. - 168 с.

51. Воронин Д.М. Обеспечение контроля топливной экономичности МТА в условиях эксплуатации: автореф. дис. д-р. техн. наук: 05.20.03. - Новосибирск, 1995. - 30 с.

52. Габаев А.Х, Бороздообразующий рабочий орган для работы в условиях повышенной влажности почв / Габаев А.Х. // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования: IМеждународная научно-практическая интернет-конференция, посвященная 25-летию ФГБНУ «Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия». - 2016. - С. 1453-1458.

53. Габаев А.Х, Работа двухдисковых сошников в условиях повышенной влажности почвы / Габаев А.Х. // Современные научные исследования и разработки: научный центр «Олимп» (Астрахань). - 2017. - № 2 (10). - С. 280-282.

54. Гатаулина, Г. Г. Практикум по растениеводству / Г. Г. Гатаулина, М. Г. Объедкова. – М.: Колос, 2000. – 215 с.

55. Гом, П. Э. Анализ использования посевных агрегатов в ОПХ "Петровское" СХОАО "Белореченское" Усольского района / П. Э. Гом, С. В. Андреев, М. К. Бураев. // Вестник ИрГСХА. – 2009. – № 36. – С. 41-46.

56. Горячкин В.П. О физико-механических и агротехнических свойствах почвы. Сборник «Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин». - Том 2 изд. - М.: Сельхозгиз, 1936.

57. Горячкин В.П. Рациональная формула для силы тяги плугов конных и тракторных. Собрание сочинений. - Том 4 изд. - М.: Сельхозгиз, 1940.

58. Гуськов Ю.А., Кружкова Д.Т. Оценка энергозатрат технологического процесса сбора и транспортирования рулонов // Теория и практика современной аграрной науки. - Новосибирск: ИЦ НГАУ, 2019. - С. 208-210.

59. Демчук Е.В, Сравнительный анализ агротехнических характеристик посевных комплексов, оборудованных лаповыми сошниками / В.В. Мяло, А.А. Кем, Д.А. Голованов и др. // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. - 2016. - № 3 (6). - 13 С.

60. Демчук Е.В. Определение качества распределения семян зерновых культур двухленточным сошником / Е.В. Демчук, Ю.В. Демчук // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2013. - №5. - С. 41-42.

61. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта 5-е издание / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

62. Дрюк В.А, Посевной комплекс для внесения питательной влагоудерживающей композиции с удобрениями и посевом семян / В.А. Дрюк // Аграрная наука - сельскому хозяйству сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции: в 2 кн. ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет». - 2018. С. 160-161.

63. Дурманов М.Я., Куликов В.Н., Михайлов О.А. Влияние параметров лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата на часовой расход топлива дизеля при транспортном режиме // сб. научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса. - СПб: СПбГЛТУ, 2019. - С. 110-120.

64. Елизаров В. П. и др. Исходные требования на базовые машинные технологические операции в растениеводстве. - М: ФГНУ Росинформагротех, 2005. - 270 с.

65. Ероков М.Б. Исследование и обоснование режимов работы сошника зерновой сеялки в условиях повышенной влажности почвы: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.20.01. - Нальчик, 2000. - 18 с.

66. Завора В.А. Основы эксплуатации мобильных сельскохозяйственных агрегатов. - Барнаул: Алтайский ГАУ, 2004. - 253 с.

67. Зеленин А.Н. Резание грунтов. - М: Изд. АН СССР, 1959

68. Зелинский А Теория плуга, окучника и бороны (перевод с польского). - М: Изд. А.Л. Васильева, 1885

69. Иванов Н.М., Криков А.М., Немцев А.Е., Коротких В.В. Бердникова Р.Г. Общая структура систем информационного обеспечения выполнения основных процессов технической эксплуатации сельскохозяйственной техники // Труды ГОСНИТИ. - 2016. - Т. 123. - С. 50-54.

70. Иванченко А.А. Механизация сельскохозяйственных работ на переувлажненных землях в Амурской области // Сб. "Вопросы развития сельского хозяйства приамурья". - Благовещенск: Амурское книжное изд., 1954

71. Ильин, С. Н. Применение углекислого газа в качестве подкормки в защищенном грунте / С. Н. Ильин, М. П. Таханов, Ю. А. Фальчевская. // Вестник ИрГСХА. – 2017. – № 80. – С. 88-91.

72. Иофинов С.А. Влияние вероятностного характера нагрузки на среднее значение показателей работы машинно-тракторных агрегатов // Вестн.с.-х. науки. - 1968. - №12.

73. Иофинов С.А. Эксплуатация машинно-тракторного парка. - М: Колос, 1974].

74. Иофинов С.А., Агеев Л.Е., Демченко Е.М. Средние значения энергетических показателей работы машинно-тракторных агрегатов при вероятностном характере нагрузки // Записки ЛСХИ. - 1969. - т. 140. - вып. 1.

75. Камбулов, С. И. Механико-технологические основы повышения уровня функционирования сельскохозяйственных агрегатов / С. И. Камбулов. – Ростов н/Д: ООО «Терра Принт», 2006. – 304 с.

76. Кардашевский, С. В. Высевающие устройства посевных машин / С. В. Кардашевский. – М.: Машиностроение, 1973. – 275 с.

77. Качинский Н.А. Основные вопросы обработки почв // Почвоведение. - 1946.

78. Качинский Н.А. Свойства почвы как фактор, определяющий условия работы сельхозмашин // Почвоведение. - 1937. - №8

79. Киртбая Ю.К. Основы теории использования машин в сельском хозяйстве. - Киев-Москва: Машгиз, 1957

80. Киселев И.И. Исследование неравномерности тяговых сопротивлений прицепных машин тяговых агрегатов: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.20.01. - М, 1945. - 24 с.

81. Киселев И.И. Резервы в использовании машинно-тракторного парка. - М: 1952. - 238 с.

82. Кленин Н.И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. - М: Колос, 2008. - 293 с.

83. Кокошин С.Н., Созонов С.М. Энергосберегающий почвообрабатывающий рабочий орган // Проблемы функционирования систем транспорта: Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 2-х т. - Тюмень: ТИУ, 2019. - С. 395-398.

84. Кокошин С.Н., Ташланов В.И. Энергетическая оценка различных способов разрушения почвы // Агропродовольственная политика России. - 2019. - №1 (85). - С. 42-46.

85. Колинко, В. П. Новое в ресурсосберегающей технологии обработки почвы / В. П. Колинко, В. С. Сапрыкин, Р. П. Голиков. – Новосибирск: СО РАСХН, 2001. – 33 с.

86. Конкин, М. Ю. Технология ресурсосбережения / Ю. М. Конкин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2003. – № 2.

87. Косарев Е.Л. Методы обработки экспериментальных данных. - М: Физматлит, 2008. - 209 с.

88. Коцыгин В.В. Некоторые вопросы теории обработки почвы на повышенных скоростях // Механизация и электрификация социалистического хозяйства. - 1961. - №1. - С. 19-22.

89. Крагельский, И. В. Трение и износ / И. В. Крагельский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.

90. Кривцов С.Н. Алгоритм диагностирования топливоподающей системы автомобильного дизеля по параметрам динамики нарастания и сброса давления топлива в общей магистрали // Автотранспортное предприятие. – 2015. – №12. – С. 50 – 53.

91. Кривцов С.Н. Динамический метод диагностирования автомобильных дизельных двигателей, оснащённых аккумуляторной топливоподающей системой // Автомобильная промышленность № 9. 2015. – С. 26 – 30.

92. Кривцов С.Н. Методический подход к формированию динамической модели автомобиля с дизельным двигателем, оснащенным аккумуляторной топливоподающей системой // Автомобильная промышленность. - 2016. - №10. - С. 24-27.

93. Кривцов С.Н., Зимин В.Г., Кривцова Т.И., Якимов И. В. Экспериментальное исследование влияния технического состояния электрогидравлических форсунок на топливную экономичность автомобиля с дизелем, оснащённым аккумуляторной топливоподающей системой // Труды НАМИ. – 2017. – №1 (268). – С. 29 – 36.

94. Кривцов С.Н., Смирнов П.Г. Устройство для диагностирования регуляторов давления топливоподающих систем Common rail // 90 – я Междунар. науч. – техн. конф. Ассоциации автомобильных инженеров в ИРНИТУ. – Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2015. – С. 132 – 138.

95. Кривцов С.Н., Сосненко Д.А. Обоснование диагностических параметров дизельного двигателя при диагностировании дизельного двигателя динамическим методом в режиме холостого хода // 90 – я Междунар. науч. – техн. конф. Ассоциации автомобильных инженеров в ИРНИТУ. – Иркутск: Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2015. – С. 64 – 71.

96. Криков А.М., Михайлов Н.А., Немцев А.Е., Хабардин С.В. Определение энергетических параметров тракторов при трогании с места под нагрузкой // Вестник ИрГСХА. - 2017. - №1 (81). - С. 127-136.

97. Кузнецов, В. Д. Физика твердого тела / В. Д. Кузнецов, М.А. Большанина. – 2-е изд., перераб. и доп. –Томск: Красное знамя, 1941. – 772 с.

98. Курманов, В.В. Дизельная топливная аппаратура нового поколения для обеспечения экологических норм / В.В. Курманов, М.В. Мазинг // Автомобили и двигатели: сб. науч. тр. - М.: НАМИ, 2006. - Вып. 236. - С. 62.

99. Кутьков Г.М., Пучков В.С., Холин А.И. Анализ источников генерации колебаний нагрузки на двигатель сельскохозяйственных тракторов // Тракторы и сельхозмашины. - 1975. - №6. - С. 9-10.

100. Кутьков, Г.М. Теория трактора и автомобиля. – М.: Колос, 1996. – 287 с.

101. Кутьков, Г.М. Теория трактора и автомобиля. Теория и технологические свойства. – М.: Колос, 2004. – 504 с.

102. Лебедев, А. Т. Надежность и эффективность МТА при выполнении технологических процессов / А. Т. Лебедев, О. П. Наумов, Р. А. Магомедов, А. В. Захарин, П. А. Лебедев и др. – Ставрополь: АГРУС, 2015. – 332 с.

103. Лебедев, А. Т. Оценка технических средств при их выборе / А. Т. Лебедев. – Ставрополь: АГРУС, 2011. – 124 с.

104. Лопарева С.Г, Экспериментальные исследования двухплоскостных распределителей семян сошников стерневых сеялок / С.Г. Лопарева // Ползуновский вестник: АлтГТУ (Барнаул). - 2017. - № 4. - С. 76-80.

105. Лурье А. Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. - Л.: 1970

106. Лурье, А.Б. Моделирование сельскохозяйственных агрегатов и их систем управления. Л.: Колос, 1979. – 312 с.

107. Любимов А.И. Уравнение движения плоскореза с гусеничным трактором / А.И. Любимов, С.П. // Труды ЧИМЭСХ. – 1970. – вып. 43

108. Любимов А.И., Яковлева С.П. К анализу уравнений движения плоскореза – глубокорыхлителя / А.И. Любимов, С.П. Яковлева // Труды ЧИМЭСХ. – 1972. – вып. 57

109. Мазитов Н.К. Ресурсосберегающие почвообрабатывающие машины. - Казань: 2003. - 456 с.

110. Майнель Т., Беляев В.И., Яковлев Д.А. Влияние комплексов машин для прямого посева яровой пшеницы на развитие растений, водный режим почвы, структуру урожая и качество зерна в Кулундинской степи Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. - 2018. -№ 9 (167). - С. 138-144.

111. Мальцев, В. Т. Азотные удобрения в Приангарье / В. Т. Мальцев. – Новосибирск: СО РАСХН, 2001. – 272 с.

112. Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рощин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. - Л: Колос, 1980. - 168 с.

113. Митков А.Л., Кардашевский С.В. Статистические методы в сельхозмашиностроении. - М: Машиностроение, 1978. - 360 с.

114. Мударисов С. Г, Результаты полевых экспериментов по энергетической и качественной оценке секции сеялки для посева по нулевой технологии / С.Г. Мударисов, И.М. Фархутдинов, Р.Ф. Юсупов // Вестник башкирского государственного аграрного университета. - 2016. - № (38). - С. 80-84.

115. Мухаметдинов А.М, Аминов Р.И. Анализ современных технических средств для посева по почвозащитным технологиям // Материалы Всероссийской научно-практической конференции. - Уфа: Башкирский ГАУ, 2016. - С. 240-246.

116. Мяло В.В, Энергосберегающие технологии при обработке почвы / В.В. Мяло, В.В. Мазуров // Вестник омского государственного аграрного университета. - 2016. - № 3 (23). - С. 242-246.

117. Мясищев Д.Г., Шостенко Д.Н., Серебренников А.В. Потребление топлива портальным лесохозяйственным трактором с учетом стохастических факторов // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. - 2019. - №5 (377). - С. 145-154.

118. Налимов В.В. Теория экспериментов. - М: Наука, 1971. - 209 с.

119. Нерпин С.В., Чудновский А.Ф. Физика почв. - М: Наука, 1967. - 584 с.

120. Нестерводский Б.В. О сопротивлении почвы при вспашке // Почвоведение. - 1975. - №4. - С. 79-86.

121. Новик Ф.С, Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. - М: Машиностроение, 1980. - 298 с.

122. О состоянии и об охране окружающей среды в Алтайском крае в 2010 году. - Барнаул, 2011. - 56 с.

123. Обозов А.А., Субботенко Д.И. Электронное управление и система топливоподачи Common rail как перспективное направление улучшения характеристик дизельного двигателя // Вестник Брянского государственного технического университета. - 2014. - №4 (44). - С. 80-85.

124. Орлов А.И. Непараметрические критерии согласия Колмогорова, Смирнова, омега-квадрат и ошибки при их применении // Научный журнал КубГАУ,. - 2014. - №97 (03). - С. 26.

125. Орлова, Л.В. Организационно-экономические основы и эффективность. сберегающего земледелия / Л.В. Орлова. – Самара: ООО «Элайт», 2009. – 204 с.

126. Петров, В.А. Гидрообъёмные трансмиссии самоходных машин / В.А. Петров. – М.: Машиностроение, 1988. – 248 с.

127. Поляк А.Я., Щупак А.Д. Эксплуатация машинно-тракторных агрегатов на повышенных скоростях. - М: Колос, 1974. - 303 с.

128. Поляков Г.Н., Шуханов С.Н., Яковлев Д.А. Распределение семян по глубине при посеве различными типами сошников // Актуальные вопросы аграрной науки. - 2019. - №31. - С. 13-22.

129. Поляков Г.Н., Яковлев Д.А. Выбор и обоснование сошников посевных машин // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2016. – № 20. – С. 43-49.

130. Поляков, Г. Н. Ресурсосберегающие технологии возделывания зерновых культур в условиях Восточной Сибири / Г. Н. Поляков, С. Н. Шуханов, П. А. Болоев. // Саратовский ГАУ: Аграрный научный журнал. – 2015. – 10. – С. 31-35.

131. Припоров Е.В, Анализ и выбор рабочих машин для предпосевной обработки почвы под посев зерновых / Е.В. Припоров, А.И. Бульбат. // Политематический сетевой электронный научный журнал кубанского государственного аграрного университета. - 2016. - №123. - С. 1670-1682.

132. Припоров Е.В Оптимальная загрузка двигателя трактора в составе посевного агрегата / Е.В. Припоров // Таврический вестник аграрной науки. - 2020. - №1 (21). - С. 83-90.

133. Раднаев Д.Н., Дамбаева Б.Е. Повышение эффективности работы комбинированных машин и комплексов / Д.Н. Раднаев, Б.Е. Дамбаева // Вестник ВСГУТУ. - 2021. - №1 (80). - С. 55-60.

134. Раднаев Д.Н Оптимизация технологического комплекса машин в растениеводстве / Д.Н. Раднаев, С.С. Калашников, С.Н Шуханов // Аграрная наука. - 2015. - №8. - С. 28-30.

135. Раднаев Д.Н Формулирование и значение принципа эмерджентности при исследовании посевных комплексов / Д.Н. Раднаев, С.Н Шуханов // Аграрная наука. - 2015. - №1. - С. 2-3.

136. Расходомеры топлива DFM // Technoton – Эксперт в контроле топлива URL: https://technoton-msk.ru (дата обращения: 11.03.2021).

137. Ревут И.Б. Физика почв. - Л: Колос, 1972. - 370 с.

138. Руденко Н.Е., Падальцин К.Д. Исследование процесса взаимодействия комбинированного рабочего органа с почвой // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. № 2. С. 26-28.

139. Синеоков Г.Н. Полезные и вредные сопротивления плуга. // «Тракторы и сельхозмашины». - 1959. - №2.

140. Синеоков Г.Н. Экспериментальное определение сопротивления рабочих органов плугов и культиваторов. Сб. научно-исслед. работ «Почвообрабатывающие машины» ВИСХОМ. - Вып. 4 изд. - М.: Машгиз, 1949.

141. Синеоков, Г. Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г. Н. Синеоков, И. М. Панов. – М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.

142. Скотников, В.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля. – М.: Агропромиздат, 1986. – 383 с.

143. Соколов, В.В., Аппроксимация зависимости тягового сопротивления почвообрабатывающего агрегата от скорости движения / Повышение эффективности ремонта и эксплуатации сельскохозяйственной техники, Алтайский сельскохозяйственный институт. – 1988. – 42 – 46.

144. Соколов, В.В., Тяговое сопротивление агрегата на отдельном поле и множестве полей / В.В. Соколов, Н.Ф. Карпов, И.Л. Новожилов // Вестник алтайского государственного аграрного университета. - 2015. - № 7 (129). - С. 125-128.

145. Соловьёв С.В., Оробинский В.И., Дерканосова Н.М Оценка часового расхода топлива при внесении органических удобрений модернизированным полуприцепом-разбрасывателем // Современные научно-практические решения XXI века Материалы международной научно-практической конференции. - Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2016. - С. 100-105.

146. Солодун, В. И. Опыт применения и сравнительные испытания почвообрабатывающе-посевных комплексов в Предбайкалье / В. И. Солодун. и др. // Symposium «Agrartechnik der Zukunft / Anforderungen an ien Landtechnik 2030. – 2013. – С. 154-159.

147. Солодун, В. И. Сельскохозяйственные машины и орудия для возделывания зерновых культур по ресурсосберегающим технологиям в условиях Иркутской области / В. И. Солодун. и др. – Иркутск: Иркутская ГСХА, 2012. – 148 с.

148. Статистические методы обработки эмпирических данных: Рекомендации. - М: ВНИИ по нормализации в машиностроении, 1978. - 232 с.

149. Фисинин, В.И. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России на период до 2020 года / Ю. Ф. Лачуга и др. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 80 с.

150. Хабардин С.В., Михайлов Н.А. Методы определения расхода топлива при тяговых испытаниях тракторов и их анализ // Вестник ИрГСХА. 2015. № 68. С. 114–122.

151. Халанский, В. М. Сельскохозяйственные машины / В. М. Халанский, И. В. Горбачев. – М.: КолосС, 2004. – 624 с.

152. Хафизов К.А., Хафизов Р.Н., Нурмиев А.А. Методика расчета часового расхода топлива двигателя трактора, работающего в составе посевного агрегата // Материалы I Международной научно-практической конференции, посвященной памяти профессора А.К. Юлдашева. - Казань: Казанский ГАУ, 2018. - С. 30-34.

153. Чудаков, Д.А. Основы теории расчета трактора и автомобиля. – М.: Колос, 1972. – 384 с.

154. Щучкин Н.В. Лемешные плуги и лущильники. - М.: Машгиз, 1952.

155. Щучкин Н.В. Физико-механические свойства почвы и сила тяги плугов // Сб. н.-и. работ «Почвообрабатывающие машины», Вып. 3. - М.: Машгиз, 1940.

156. Электронное управление дизелями (EDC) // URL: http://www.ecologic.su/page.asp?id=372. (дата обращения: 07.04.2018).

157. Юров, М. Д. Тяговый расчёт и построение теоретической тяговой характеристики сельскохозяйственного трактора с использованием ЭВМ / М. Д. Юров. – Липецк: ЛГТУ, 2007. – 56 с.

158. Юшкевич Л. В., Оценка эффективности посевных комплексов в засушливых агроландшафтах Западной Сибири / Л.В. Юшкевич, А.А. Кем // Вестник алтайского государственного аграрного университета. - 2013. - № 4 (102). - С. 84-88.

159. Ягодов О.П., Соколов Б.Ф. Практика тензометрирования. - Челябинск: 1972. - 84 с.

160. Якимов И.В., Кривцова Т.И. Анализ формирования расхода топлива в обратную магистраль электрогидравлической форсунки при изменении управляющего сигнала // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2018. - №2. – С. 172 – 176.

161. Яковенко А.Т. Коэффициент трения почвы по лемешной стали. // Ученые записки. - Саратов: Саратовский гос. ун-т им Н.Г. Чернышевского, 1951

162. Яковлев Д.А. Рациональное комплектование посевных машин рабочими органами для условий повышенного увлажнения почв / Яковлев Д.А., Беляев В.И., По-

ляков Г.Н. // Информационные технологии, системы и приборы в АПК. 7-я Международная научно-практическая конференция. - Новосибирск -Краснообск. - 2018. - С. 497-500.

163. Яковлев Д.А., Беляев В.И., Поляков Г.Н. Обоснование рациональных параметров сошниковой группы сеялки СЗС-2.1 для прямого посева // Вестник алтайского государственного аграрного университета. - 2019. - №9 (179). - С. 131-135.

164. Яковлев, Д.А. Оценка надежности элементов посевной машины СЗС 2.1 / Д.А. Яковлев, В.И. Беляев, Г.Н. Поляков // Наука и инновации: векторы развития: сборник научных статей в 2 кн. / Международная научно-практическая конференция молодых ученых. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2018. – Кн. 2. – С. 80-82.

165. Яковлев, Д.А. Сравнительная энергооценка рабочих органов посевных машин для прямого посева в условиях различного увлажнения почв / В.И. Беляев, Р.Е. Прокопчук // Вестник алтайского государственного аграрного университета. - 2020. - №6 (188). - С. 144-150.

166. Яковлев Д.А. Энергооценка работы посевных агрегатов в условиях различного увлажнения почв / Д.А. Яковлев, В.И. Беляев // Вестник НГИЭИ. - 2021. - № 9 (124). - С. 18-27.

167. Яковлев Д.А. Теоретическое обоснование параметров и режимов работы посевных агрегатов в условиях различного увлажнения почв / Д.А. Яковлев, В.И. Беляев // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. - 2021. - № 3. - С. 128-134.

168. Яковлев, Н. С. Повышение надёжности посевных машин "ОБЬ-4-ЗТ" / Н. С. Яковлев. // Техника и оборудование для села. – 2011. – № 13. – С. 11-13.

169. Яковлев Н.С., Иванов Н.М. Эффективность функционирования посевных машин с неоднородной структурой элементов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 2011. - №5. - С. 27-28.

170. Яковлев Н.С., Цегельник А.П., Черных В.И. Качество обработки почвы в зависимости от размера культиваторных лап, скорости агрегата и влажности почвы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. - 2016. - №1. - С. 73-81.

171. Яковлев Н.С., Яковлева Л.П. Экономическая эффективность технических средств для ресурсосберегающих технологий // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. - 2006. - №1. - С. 86-89.

172. Яковлев Н.С. Влияние ширины культиваторных лап на качество обработки почвы / Н.С. Яковлев, Н.Н. Назаров, Ю.Н. Блынский // Вестник алтайского государственного аграрного университета. - 2016. - №8 (142). - С. 156-162.

173. Яковлев Н.С. Твердость почвы и почвенных агрегатов / Н. С. Яковлев, Н.Н. Назаров, В.И. Черных // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник материалов: в 3 кн. / XII Международная научно-практическая конференция (7-8 февраля 2017 г.). – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2017. – Кн. 1. – С. 60-62.

174. Яковлев Н.С. Качество обработки почвы в зависимости от размера культиваторных лап, скорости агрегата и влажности почвы / Н.С. Яковлев, Ю.Н. Блынский, Н.Н. Назаров, В.И. Черных // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. - 2016. - № 4 (251). - С. 97-104.

175. Яковлев Н.С. Машины с кольцевыми рабочими органами // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. Аграрная наука - сельскохозяйственному производству Сибири, Казахстана, Монголии, Беларуси и Болгарии: сборник материалов: в 2 т. / матер. Международной научно-технической конференции (19-21 октября 2016 г.). – Минск: РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2016. – С. 173-176.

176. Яковлев Н.С. Распределение семян под лапой сошника посевной машины / Н.С. Яковлев, П.В. Колинко // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. - 2015. - № 3 (244). - С. 90-97.

177. Яковлев Н.С. Патент РФ № 2407270, A01C 7/20. Сошник сеялки-культиватора / Н.С. Яковлев, В.П. Колинко, П.В. Колинко и др.; заявитель и патентообладатель ОАО «САД». - № 2009111949/21; Заявл; 31.03.09; опубл. 27.12.10; Бюл.

178. Яковлев Н.С. Определение коэффициента восстановления скорости семян при ударе о рассекатель сошника / Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. - 2015. - № 1 (242). - С. 101-105.

179. Яковлев Н.С. Определение параметров приемника сошника посевной почвообрабатывающей машины «ОБЬ-4ЗТ» / Н.С. Яковлев, П.В. Колинко, Л.П. Яковлева, В.В. Маркин // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. - 2010. - № 1 (205). - С. 95-102.

180. Beljaev, V.I., Volnov, V.V., Sokolova, L.V., Kuznecov, V.N., Matsyura, A.V. (2017). Effect of sowing techniques on the agroecological parameters of cereal crops. Ukrainian Journal of Ecology, № 7 (2), p. 130-136.

181. Beljaev, V.I., Volnov, V.V., Sokolova, L.V., Kuznecov, V.N., Matsyura, A.V. (2017). Effect of sowing techniques on the agroecological parameters of cereal crops. Ukrainian Journal of Ecology, № 7 (2), c. 130-136.

182. Belyaev V.I., Vol'nov V.V., Iakovlev D.A., Sokolova L.V. The influence of the sowing coulters type on the seeding quality and the spring wheat yield // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. - 2020. - №941

183. Belyaev, V.I., Rudev, N.V., Maynel, T., Kozhanov S.A., Sokolova L. V., Matsyura, A.V. (2017). Effect of sowing aggregates for direct sowing, sowing seeding rates and doses of mineral fertilizers on spring wheat yield in the dry steppe of Altai Krai. Ukrainian Journal of Ecology, № 7 (4), p.145-150.

184. Belyaev, V.I., Rudev, N.V., Maynel, T., Kozhanov S.A., Sokolova L. V., Matsyura, A.V. (2017). Effect of sowing aggregates for direct sowing, sowing seeding rates and doses of mineral fertilizers on spring wheat yield in the dry steppe of Altai Krai. Ukrainian Journal of Ecology, № 7 (4), c.145-150.]

185. Chen Y., Gao, Q., Zhou H., Sadek M. A. Simulation of soil dynamic properties of a seed opener using the discrete element method (dem) // Agricultural Engineering International: CIGR Journal. - 2015. - №17 (3)

186. Dwyer M. J., Crolla D. A., Pearson G. An investigation of the potential for improvement of tractor draught controls // J. Agr.. - 1974. - №19 (2). - P. 147-165.

187. Harker K. N., O'Donovan J. T., Blackshaw R. E., Johnson E. N., Lafond G. P., May W. E. Seeding depth and seeding speed effects on no-till canola emergence, maturity,

yield and seed quality // Canadian Journal of Plant Science. - 2012. - №92 (4). - P. 795-802.

188. Hasim A., Chen Y. Soil disturbance and draft force of selected seed openers. // Soil and Tillage Research. - 2014. - №140. - P. 48-54.

189. Kushwaha R. L., Linke C. Draft-speed relationship of simple tillage tools at high operating speeds // Soil Tillage Res. - 1996. - №39 (12). – P. 61-73.

190. Marquardt D. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters // SIAM J. Appl. Math. - 1963. - №11. - C. 431-444.

191. McKyes E., Ali O. The cutting of soil by narrow blades // J. Terramech. - 1977. - №14 (2). - P. 43-58.

192. Nazarov N., Yakovlev N., Ivanov N., Blynsky Y. Project designing of crop production agricultural technologies // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. - 2019. - № 403 012054 DOI: 10.1088/1755-1315/403/1/012054

193. Nemtsev A., Voronin D., Demenok I. Application of service technical clusters for agroindustrial complex of the Novosibirsk region // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. - 2019. - № 403 012054 DOI: 10.1088/1755-1315/403/1/012053

194. Obermayr M., Dressler K., Vrettos C., Eberhard P. Prediction of draft forces in cohesionless soil with the discrete element method // J. Terramech. - 2011. - №48 (5). - P. 347-358.

195. Solhjou A., Desbiolles J. M. A., Fielke J. M. Soil translocation by narrow openers with various blade face geometries // Biosystems Engineering. - 2013. - №114 (3). - C. 259-266.

196. Terzaghi, K. Theoretical Soil Mechanics. – 2 edition. - New York: John Wiley and Sons, 1943

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2758720

Способ посева зерновых культур и сошник для бороздкового посева семян

Патентообладатель: ***Яковлев Даниил Александрович (RU)***

Автор(ы): ***Яковлев Даниил Александрович (RU)***

Заявка № **2021102163**
Приоритет изобретения **29 января 2021 г.**
Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **01 ноября 2021 г.**
Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **29 января 2041 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

Приложение Б

Министерство сельского хозяйства Иркутской области

РЕШЕНИЕ
заседания научно-технического совета

г. Иркутск 10.02.2017 г.

Присутствовали члены НТС: Дмитриев Н.Н., Бажанов Ю.С., Бутырин М.В., Дорофеев Н.В., Жилкина Н.Г., Зайцев А.М., Ильин С.Н., Ильина О.П., Константинов М.М., Крутиков Г.А., Кузнецов Б.Ф., Кузнецов А.И., Лобыцин А.И., Мельцов И.В., Полномочнов А.В., Раченко М.А., Решетский В.Е., Романкевич Ю.Н., Турушева А.В., Федин В.В.

Приглашенные: Алтухов И.В., Кренделев П.Д., Поляков Г.Н.

Вел заседание: Дмитриев Н.Н.
Секретарь: Лобыцин А.И.

Вопрос 1. Разработка и совершенствование технических средств для посева зерновых культур в Прибайкалье. Докладчик: Яковлев Даниил Александрович.

В обсуждении доклада приняли участие: Полномочнов А.В., Поляков Г.Н., Зайцев А.М., Решетский В.Е., Бажанов Ю.С.

Заслушав доклад Яковлева Д.А. и обсудив вышеуказанный вопрос научно-технический совет решил:

1. Принять к сведению информацию Д.А. Яковлева о проведении научной работы по разработке и совершенствованию технических средств для посева зерновых культур в Прибайкалье.
2. Рекомендовать Д.А. Яковлеву заключить договоры на оказание консультационных услуг с сельскохозяйственными товаропроизводителями области для продолжения научной работы.

Вопрос 2. Использования запатентованного электронагревательного индукционного устройства ЭНИ 750/110-50-400 для прогрева почвы в весенних теплицах и солнечных панелей с аккумуляторной батареей «Литера». Докладчик: Шапран Леонид Александрович.

В обсуждении доклада приняли участие: Алтухов И.В., Кренделев П.Д., Дорофеев Н.В., Раченко М.А., Кузнецов Б.Ф.

Заслушав доклад Шапрана Л.А. и обсудив вышеуказанный вопрос научно-технический совет решил:

Продолжение приложения Б

1. Принять к сведению информацию Л.А. Шапрана о разработке электронагревательного индукционного устройства ЭНИ 750/110-50-400 для прогрева почвы в весенних теплицах и солнечных панелей с аккумуляторной батареей «Литера».

Вопрос 3. Рассмотрение методических рекомендации по оплате труда и материальному стимулированию работников для сельхозтоваропроизводителей Иркутской области. Докладчик: Хомколова Ольга Викторовна.

В обсуждении доклада приняли участие: Константинов М.М., Федин В.В., Лобыцин А.И.

Заслушав доклад Хомколовой О.В. и обсудив вышеуказанный вопрос научно-технический совет решил:

1. Членам НТС, заинтересованным лицам в срок до 20 февраля 2017 года направить в отдел экономики министерства (Турушева А.В.) замечания и предложения для включения в методические рекомендации по оплате труда и материальному стимулированию работников для сельхозтоваропроизводителей Иркутской области (далее – методические рекомендации).
2. Отделу экономики министерства (Турушева А.В.) в срок до 27 февраля 2017 года доработать методические рекомендации с учетом замечаний и предложений.
3. Отделу экономики министерства (Турушева А.В.) в срок до 10 марта 2017 года направить методические рекомендации в отделы (управления) сельского хозяйства районных муниципальных образований для использования в работе.
4. Рекомендовать сельскохозяйственным товаропроизводителям Иркутской области использовать в работе методические рекомендации для расчетов заработной платы и материальному стимулированию работников.
5. Опубликовать методические рекомендации в информационном бюллетене министерства «Агрофакт».

Заместитель председателя
НТС министерства Н.Н. Дмитриев

Секретарь НТС министерства А.И. Лобыцин

Приложение В

Общество с ограниченной ответственностью «Агроцентр»
656067, г. Барнаул, ул. Попова, 200
Телефон/факс (3852) 28-21-00, факс 45-19-72, e-mail: agro-pochta@mail.ru
ОКПО 50661959, ОГРН 1022201379903, ИНН 2223030556, КПП 222201001

г. Барнаул «18» июня 2021 г.

АКТ

внедрения результатов научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся, представители Алтайского государственного аграрного университета д.т.н., профессор Беляев В.И., соискатель учёной степени Яковлев Д.А. с одной стороны, и представители предприятия сельхозмашиностроения ООО «Агроцентр» председатель совета директоров Костин А.Ю., заместитель начальника центра сервиса и гарантийного обслуживания Богомолов И.В. составили настоящий акт о том, что в 2021 году принята к внедрению методика обоснования рациональных параметров и режимов работы посевных агрегатов в условиях различной влажности почвы степной зоны Сибири.

Представители:

Председатель совета директоров
ООО «Агроцентр» Костин А.Ю.

Заместитель начальника ЦС и ГО Богомолов И.В.

Научный руководитель,
д.т.н., профессор Беляев В.И.

Соискатель учёной степени Яковлев Д.А.

Приложение Г

Общество с ограниченной ответственностью крестьянское хозяйство «Партнер»

658966, Алтайский край, Михайловский район, с. Полуямки, ул. Советская, дом 31. Тел./Факс (385-70) 24-3-23, ИНН 2258004099. Р/сч 40702810902520101293 Алтайское отделение № 8644 ПАО Сбербанк г. Барнаул, ИНН банка 7707083893, БИК 040173604, кор/сч 30101810200000000604.

г. Барнаул «15» сентября 2021 г.

АКТ

внедрения результатов научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся, представители ООО КХ «Партнер» Михайловского района Алтайского края, директор Кожанов Андрей Анатольевич и главный инженер Кожанов Никита Андреевич подтверждаем внедрение в технологический процесс результатов диссертационной работы Яковлева Даниила Александровича на тему: «Энергетическая оценка сошников при работе посевных агрегатов в условиях различной влажности почвы степной зоны Сибири» на соискание ученой степени кандидата технических наук.

К внедрению принята методика обоснования рациональных параметров и скоростных режимов работы посевных агрегатов при эксплуатации в диапазоне влажности почвы 15-30%.

Применение внедренной методики позволило повысить производительность посевных агрегатов на 6-11%, а также снизить величину погектарного расхода топлива на 4-9%.

Представители:

Директор ООО КХ «Партнер»: Кожанов А.А.

Главный инженер: Кожанов Н.А.

Научный руководитель: Беляев В.И.

Соискатель ученой степени: Яковлев Д.А.

Приложение Д

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ

к.с.х.н, доцент

_____Завалишин С. И.

«21» сентября 2021 г.

АКТ

внедрения результатов научно-исследовательской работы в учебный процесс

Яковлев Даниил Александрович в период 2018-2021 гг. исследовал энергетический процесс посева зерновых культур в условиях различной влажности почв, в результате чего выявлены экспериментально аналитические зависимости:

- для определения тягового сопротивления анкерного и лапового сошников с учётом уровня влажности почвы;
- для определения расхода топлива тракторного двигателя от уровня влажности почвы, выбранного типа сошника и рабочей скорости движения посевного агрегата.

Полученные зависимости позволили усовершенствовать математическую модель посевного агрегата, позволяющую определять расход топлива тракторного двигателя в зависимости от уровня влажности почвы, выбранного типа сошника и рабочей скорости движения, а также выполнять теоретические расчеты по обоснованию рациональных параметров и режимов работы МТА.

Указанные разработки широко используются в учебном процессе ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ при проведении занятий для студентов 3-4 курсов направления «Агроинженерия».

Представители:

Зав. кафедрой СХТ и Т

д.т.н., профессор

_____ Беляев В.И.

Соискатель учёной степени:

_____ Яковлев Д.А.