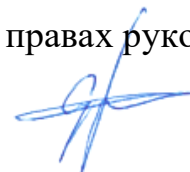


МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



Сурин Роман Олегович

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОЛЁСНЫХ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА ПОЛЕВЫХ РАБОТАХ

Специальность

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук, доцент
Бурмага Андрей Владимирович

Благовещенск – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РЕГИОНАЛЬНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ	12
1.1 Обзор использования посевных площадей и региональные особенности производства сельскохозяйственной продукции	12
1.2 Обзор применяемых для процесса щелевания в Амурской области комбинированных разуплотняющих агрегатов	21
1.2.1 Щелеватели-плоскорезы глубокорыхлители	23
1.2.2 Чизельные плуги	26
1.2.3 Плуги-рыхлители	28
1.2.4 Многоярусные щелеватели	30
1.3 Исследования по вопросу снижения переувлажнения опорной поверхности	33
1.4 Выводы	48
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ИССЛЕДОВАНИЙ	50
2.1 Влияние прокальвателя-щелереза на распределение нормальных реакций почвы и нагрузки на движитель колёсного трактора	50
2.2 Обоснование воздействия динамических параметров фронтального прокальвателя-щелереза на конструкцию трактора в движении	60
2.3 Определение тягового усилия колёсного энергетического средства с установленным фронтальным прокальвателем-щелерезом в условиях движения по склону	70
2.4 Обоснование выбора формы рабочих органов для фронтального прокальвателя-щелереза	79
2.5 Выводы	83
3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	85

3.1 Программа экспериментальных исследований	85
3.2 Общая методика проведения экспериментальных исследований	85
3.3 Объекты и условия проведения экспериментальных исследований	86
3.4 Средства измерений при проведении полевых испытаний	95
3.4.1 Определение влажности почвы	96
3.4.2 Определение плотности почвы	97
3.4.3 Определение твердости почвы	98
3.4.4 Определение глубины прокалывания почвенного слоя фронтальным прокалывателем-щелерезом	100
3.4.5 Определение нагрузки на рабочие органы устройства, передний и задний мосты трактора	101
3.4.6 Измерение глубины колеи трактора	106
3.4.7 Определение тягового усилия колёсного трактора	107
3.4.8 Определение расхода топлива при работе экспериментального трактора	109
3.5 Методика математической обработки экспериментальных данных	110
3.5.1 Оценка точности измерений	110
3.5.2 Статистическая обработка экспериментальных данных	111
3.6 Выводы по главе	113
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	114
4.1 Результаты экспериментальных исследований по влиянию трактора с фронтальным прокалывателем-щелерезом на физико-механические свойства почвы	114
4.1.1 Результаты распределения влажности почвы по глубине	114
4.1.2 Определение плотности почвы	116
4.1.3 Определение твердости почвы	119
4.1.4 Определение глубины колеи после прохода серийного и экспериментального агрегата	121
4.2 Определение глубины прокалывания почвенного слоя фронтальным прокалывателем-щелерезом	122

4.3 Результаты экспериментальных исследований по определению влияния прокальвателя-щелереза на перераспределения нагрузки между мостами трактора	126
4.4 Результаты экспериментальных исследований по определению влияния прокальвателя-щелереза на величину буксования и скорость движения трактора	132
4.5 Результаты сравнительных хозяйственных испытаний	136
4.6 Регрессионно-дисперсионный анализ результатов исследования экспериментального колёсного энергетического средства с фронтально агрегируемым прокальвателем-щелерезом	137
4.7 Выводы по главе	143
5 ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МТА ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПОЧВЫ ПОД ПОСЕВ	145
ВЫВОДЫ	148
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	151
ПРИЛОЖЕНИЯ	176

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы на территории Амурской области, в целях повышения эффективности использования колёсных энергетических средств на полевых работах в условиях переувлажнения несущего почвенного слоя, что характерно для региона в весенний период, всё чаще применяются многооперационные комбинированные почвообрабатывающие машины, имеющие высокую энерговооружённость и производительность. Учитывая, что в этот период возникает необходимость уменьшения влаги в плодородном слое, эффективным способом является применение машин (орудий), работа которых направлена на улучшение водопроницаемости в подпочвенные горизонты при одновременном снижении переуплотнения почв и разрушения плужной подошвы, что позволит повысить как тягово-сцепные свойства энергетических средств, так и сохранить плодородие, способствуя повышению урожайности и увеличению валовых сборов сельскохозяйственных культур.

В то же время применение современных высокоинтенсивных технологий растениеводства невозможно без использования энергетических средств раздельно-агрегатной компоновки тягового класса 5-8 тс с высокими тягово-сцепными свойствами в составе машинно-тракторных агрегатов (МТА). Обладая рядом преимуществ, эти колёсные энергетические средства имеют и ряд недостатков, в частности: из-за большого веса передней полурамы колёсного трактора и установленных на ней агрегатов, оказывают негативное влияние на физико-механические характеристики почвы, увеличивается глубина колеи и снижается качество проведения полевых работ. В тоже время задние ведущие колёса полурамного трактора, проходя по следу движения переднего моста, в звене «двигатель-почва» под воздействием сниженных сил трения находятся в менее выгодных условиях по сцепным качествам, что также уменьшает их тягово-сцепные свойства, при этом задние ведущие двигатели не могут реализовать в полном объёме заложенные производителем эксплуатационные характеристики. Поэтому, исследования направленные на повышение

эффективности использования колёсных энергетических средств на полевых работах, является актуальными.

Вопросам использования процессов перераспределения веса в ходовой системе агрегатов посвящены работы авторов А.В. Бочарова, Д.С. Гапича, В.В. Геращенко, А.П. Зырянова, А.А. Кислова, Е.Е. Кузнецова, Е.С. Поликутиной, С.В. Щитова, В.Н. Мелехова, которые предлагают применение для этих целей устройств специальной конструкции.

В связи с чем, на основании исследований, ранее проведенных Б.А. Азизовым, А.С. Аникиным, Ю.Г. Горшковым, И.Е. Донцовым, С.И. Кабуловым, О.С. Кожабергеном, С.В. Щитовым, В.Н. Мелеховым, А.М. Петровым, Р.Ю. Сыроевым, Н.Ф. Скурятиним, С.И. Старовойтовым, анализа работ и степени проработанности темы предлагается для целей повышения эффективности использования колёсных энергетических средств при подготовке почвы под посев установить на передней раме и силовом бампере трактора почвообрабатывающее устройство оригинальной конструкции - фронтальный прокальватель-щелерез, который имеет возможность перераспределения массы в ходовой системе агрегата, что повысит тягово-сцепные свойства трактора при снижении переуплотнения, и одновременного проведения прокальвания верхнего почвенного слоя на необходимую глубину для улучшения фильтрации влаги по глубине почвы при избыточной влажности.

Научная гипотеза: повысить эффективность использования колёсных энергетических средств на ранневесенних полевых работах возможно при их применении в составе многооперационных почвообрабатывающих агрегатов с одновременным снижением техногенного воздействия на почвы их ходовых систем.

Цель исследования – повышение эффективности использования колёсных энергетических средств в период проведения ранневесенних полевых работ.

Задачи исследования:

- проанализировать особенности природно-климатических условий и современное состояние машинно-тракторного парка региона, и обосновать пути

повышения эффективности колёсных энергетических средств в составе почвообрабатывающих машинно-тракторных агрегатов;

- предложить методологическое обоснование для разработки конструкции фронтально- агрегируемого устройства, предназначенного для применения в составе многооперационных почвообрабатывающих агрегатов с целью снижения техногенного воздействия на почву;

- теоретически и экспериментально определить параметры влияния прокалывающего устройства предлагаемой конструкции на перераспределение сцепного веса между мостами энергетического средства, технологические параметры агрегата и физико-механические свойства почвы;

- провести сравнительные хозяйственные испытания серийного и экспериментального МТА в условиях производственной эксплуатации, дать энергетическую и технико-экономическую оценку проведённых исследований.

Объект исследования – технологический процесс подготовки почвы к посевным работам.

Предмет исследования. - закономерности изменения тягово-сцепных свойств колёсных энергетических средств и физико-механических свойств почвы от перераспределения сцепного веса в ходовой системе трактора.

Научная новизна заключается в обосновании закономерностей процессов перераспределения сцепного веса, возникающих при агрегатировании колёсным энергетическим средством фронтального прокалывателя-щелереза. Получены аналитические выражения, определяющие воздействие прокалывателя-щелереза на перераспределение сцепного веса между мостами колёсного энергетического средства. Установлено влияние прокалывателя-щелереза на тягово-сцепные свойства колёсного энергетического средства, скоростные характеристики, производительность, показатели техногенного воздействия на почву и определены режимы рационального функционирования предлагаемого МТА.

Новизна, изобретательский уровень и промышленная применимость предложенных технических решений подтверждена патентами РФ на изобретения и полезные модели № 2769449, 2754595, 213798, 2797283, 2791619, новизна и

оригинальность применённого математического формульного аппарата защищена свидетельствами РФ на программу для ЭВМ № 2022681520, 2022681522, 2024688686, 2024688338, 2024688337.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретически обоснованы и экспериментально проверены в реальных условиях производственной эксплуатации новые подходы, доказывающие эффективность применения способов перераспределения сцепного веса в составе МТА, позволяющие более рационально реализовывать тягово-сцепные свойства колёсных тракторов. Установлено, что использование МТА с предлагаемым устройством повышает тягово-сцепные свойства энергетического средства, снижает техногенное воздействие колёсной ходовой системы на почву за счёт уменьшения величины буксования движителей и снижения вертикальной нагрузки в пятне контакта. Полученные экспериментальные зависимости, предложенные технические решения и программные продукты позволяют сократить затраты времени и материальных средств при конструировании, изготовлении, внедрении, совершенствовании и доработке серийных тракторов, используемых в составе почвообрабатывающих агрегатов.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований успешно внедрены и применяются в КФХ «Швецов С.Н.» (п. Сергеевка, Благовещенского округа), КФХ «Лысенко А.П.» (п. Среднебелая, Ивановского округа) и других хозяйствах Амурской области. Предложения по уточнению теории использования колёсного энергетического средства с изменяющимся сцепным весом используются в учебном процессе на кафедре транспортно-энергетических средств и механизации АПК факультета механизации сельского хозяйства ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ.

Методология и методы исследования. Исследования по теме диссертации выполнены в ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ в соответствии с научно-технической программой:

- на 2016-2020 г.г. тема 15 - «Перспективная система технологий и машин для сельскохозяйственного производства Дальнего Востока» ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, номер государственной регистрации 01200503571;
- на 2021-2025 г.г. тема 8 - «Мобильная энергетика» ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, номер государственной регистрации № 121022000099-61.

Теоретические исследования по повышению эффективности использования колёсного энергетического средства на полевых работах проведены на основе использования методов теоретической и прикладной механики. В исследованиях использован математический аппарат линейного программирования, дифференциального и интегрального исчисления. Экспериментальные исследования проведены в реальных условиях производственной эксплуатации.

Полученные экспериментальные данные обработаны в соответствии с современными методами теории вероятностей, математической статистики и планирования экспериментальных исследований с применением специализированных программ «Blender», «Sigma Plot 11.0», «Mathcad» и «Компас 3D V22».

Основные положения, выносимые на защиту:

- методологическая схема, отображающая взаимосвязи конструирования почвообрабатывающих орудий для щелевания почв и конструкция фронтального прокалывателя-щелереза, предназначенного для проведения пунктирного щелевания в составе МТА;
- аналитические зависимости, позволяющие определить нагрузку, приходящуюся на рабочий орган предлагаемого устройства и обосновывающие влияние устройства на перераспределение нагрузки между мостами колёсного трактора;
- результаты производственной проверки предлагаемой конструкции в реальных условиях эксплуатации.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных данных подтверждается значительной степенью сходимости теоретических и экспериментальных исследований, результатами лабораторно-

полевых испытаний, проведённых с достаточным количеством опытов и применением программно-аппаратного комплекса, обеспечивающего требуемую точность измерений, обработкой опытных данных методами математической статистики с использованием специализированных математических программ на ПЭВМ, в соответствии с поставленными целью, задачами, выбором объекта, предмета, способностью воспроизводимости результатов в типичных условиях, высокими экономическими показателями внедрения предложенных методологических и технических решений, устройств и рекомендаций в производственных условиях, а также использованием результатов исследований конструкторскими, образовательными и другими организациями.

Основные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на тематических научных конференциях ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ (Благовещенск, 2020 -2024 г.г.); всероссийских научно-практических конференциях «Теоретические и практические вопросы современной науки» (Москва, 2020 г.), «Актуальные вопросы энергетики в АПК» (Благовещенск, 2022 г.); «Актуальные вопросы аграрной науки» (Иркутск, 2022 г.); «Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития» (Красноярск, 2022 г.); «Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования» (Новосибирск, 2022 г.); «Современные проблемы и пути развития технического сервиса в АПК» (Минск, 2022 г.); «Развитие современной аграрной науки: «Обеспечение технологического суверенитета АПК: подходы, проблемы, решения» (Екатеринбург, 2023 г.); Актуальные вопросы, достижения и инновации» (Нальчик, 2024 г.); в международных научно-практических конференциях E3S Web of Conferences (Volume 381, 431, 2023 г.); MIP: Engineering-IV. AIP Conference Proceedings (Volume 3021(1), 2024 г.).

Публикации. Основные положения диссертационной работы опубликованы в 2020-2024 г.г. в сборниках международных, национальных и региональных научно-практических конференций, научных трудов, в журналах: «Технический сервис машин», «Известия Оренбургского государственного аграрного университета»; «Вестник Брянской ГСХА», политематический сетевой

электронный научный журнал Кубанского ГАУ, АгроЭкоИнфо: электронный научно-производственный журнал, «Дальневосточный аграрный вестник»; «Известия Международной академии аграрного образования»; научный журнал «Агронаука» ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои; Journal of Advanced Research in Technical Science.

Всего по теме диссертации опубликовано 33 научных работы, в том числе 3 статьи в изданиях, индексируемых в международных цитатно-аналитических базах данных Web of Science и Scopus, 10 статей в журналах из Перечня рецензируемых изданий, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, получено 5 патентов на интеллектуальную собственность и 5 свидетельств о регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 199 страницах, содержит 22 таблицы, 97 рисунков и 10 приложений. В списке литературы содержится 206 наименований, из них 7 – на иностранном языке.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РЕГИОНАЛЬНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ

1.1 Обзор использования посевных площадей и региональные особенности производства сельскохозяйственной продукции

Одним из основных производителей сельскохозяйственной продукции в Дальневосточном Федеральном округе является Амурская область, которая расположена на юго-востоке Российской Федерации и обладает около 60% всей посевной площади Дальнего Востока.

Для области характерен умеренно-влажный климат, зимой сильные морозы с выпадением небольшого количества осадков в виде снега, начиная с середины ноября и по конец февраля (около 7% от среднего годового объема). В отличие от северной части области, где температура воздуха достигает до минус 56 °С, в южной части, начиная с января и по конец февраля, температура остается в пределах от минус 24 до минус 28 °С (рисунок 1.1).

Основными климатическими критериями области являются: высокий запас влаги во время предпосевной обработки почвы весной, связанный с наличием мерзлотного подстилающего слоя (рисунок 1.2) и выпадение значительного количества осадков в летний период - с середины июля по сентябрь (более 75% годовых норм осадков (рисунок 1.3)), что вызывает сильное переувлажнение почвы, особенно во время проведения уборки урожая [206].

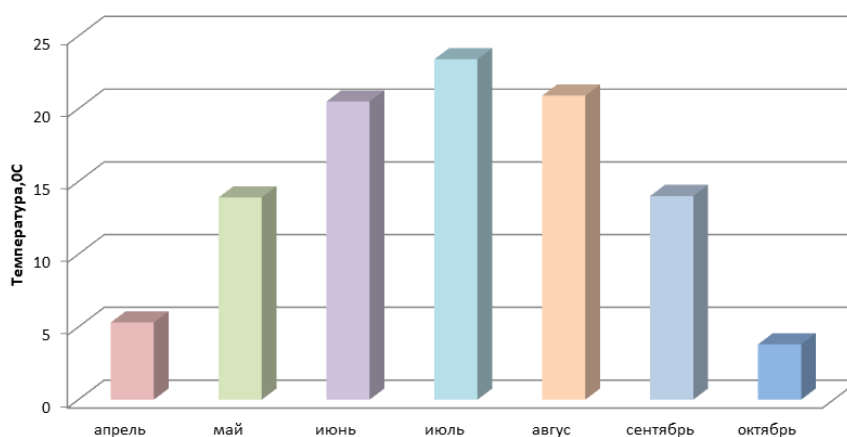


Рисунок 1.1 – Распределение температуры в сезон полевых работ (среднее, по пятнадцатилетним наблюдениям) [199]

Вся территория области составляет около 361,9 тыс.км², в том числе сельскохозяйственные угодья – 1644,1 тыс.га, из них более 25 % используемой пашни подвержены постоянному переувлажнению или заболочены [75,154].

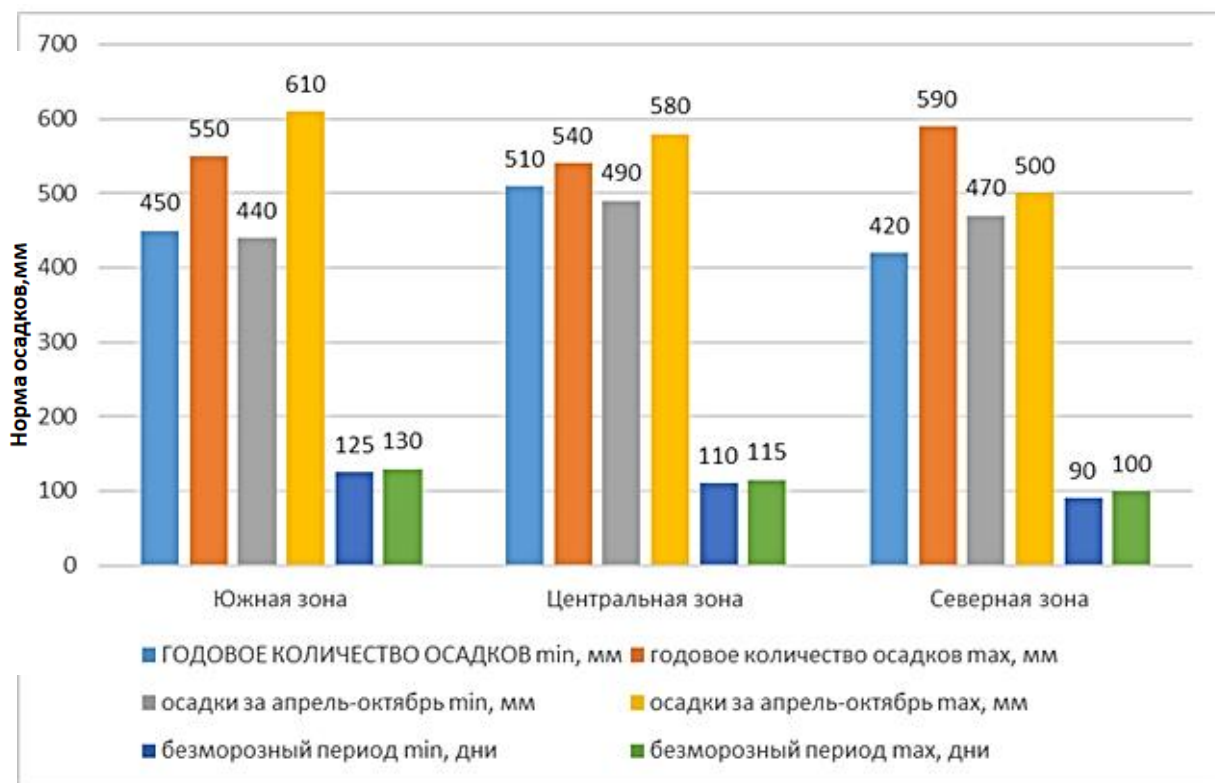


Рисунок 1.2 – Количество осадков и теплый период в основных сельскохозяйственных зонах Амурской области [10,142]

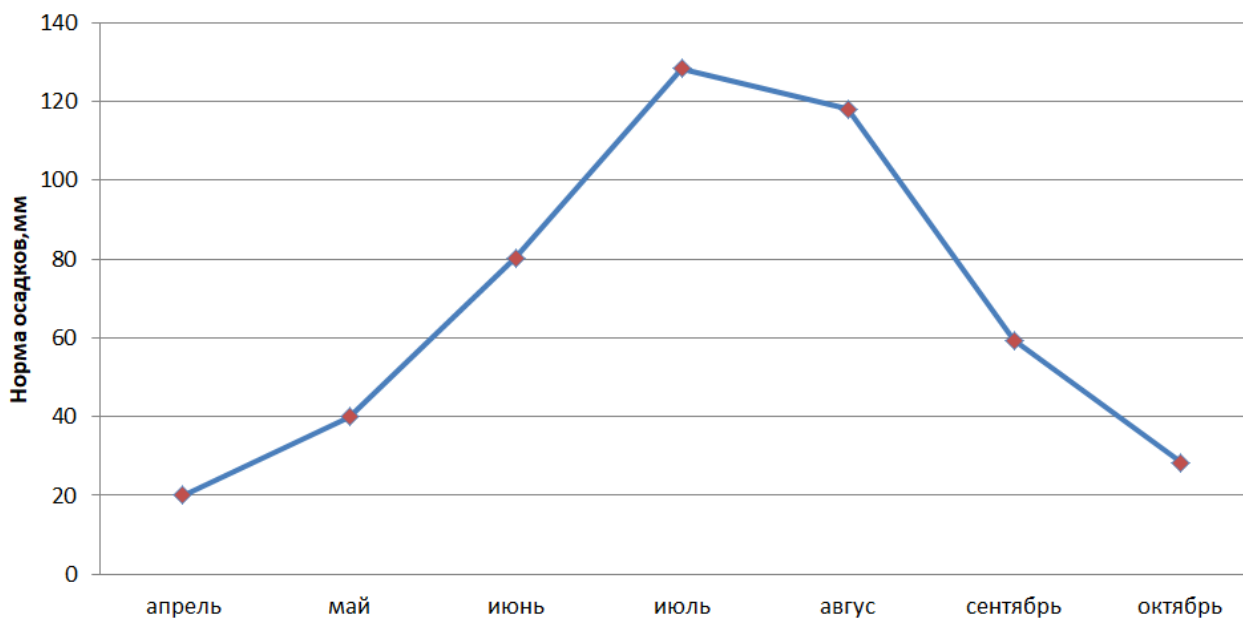


Рисунок 1.3 – Распределение осадков за сезон полевых работ (среднее, по пятнадцатилетним наблюдениям 2009-2024 г.г.) [10,199]

Агроклиматические особенности сельско-хозяйственных зон Амурской области значительно влияют на процесс минерализации почвы, что способствует выращиванию разнообразных сельскохозяйственных культур, в основном со средним периодом активной жизнедеятельности растений в пределах 100-110 дней, на особенности применения различной сельскохозяйственной техники и агрегатов, используемых в процессе обработки почвы, на процессы заболачивания, оврагообразования и эрозии почвы [30,69,76,154].

Наиболее пригодными для земледелия являются земли, расположенные в Южной сельскохозяйственной зоне Амурской области, в основном на территории Зейско-Буреинской равнины, где почва имеет разнообразные и наиболее благоприятные физические свойства.

Однако при проведении сельскохозяйственных работ в агроклиматических сельско-хозяйственных зонах Амурской области необходимо и обязательно учитывать различные природные критерии региона (таблица 1.1).

Таблица 1.1 - Основные агрокритерии для проведения сельскохозяйственных работ в условиях Амурской области (на примере Южной сельскохозяйственной зоны) [31,89]

№ п/п	Природно-производственные критерии	Показатель
1	Среднегодовое количество осадков, мм: - в период посевной - в период уборочной	450...550 22 440...610
2	Дата начала и окончания полевых работ: - начала - окончания	10.04...05.05 01.10...15.10
3	Продолжительность полевых работ, дни	170 - 190
4	Наличие почв, % от площади пашни: - луговые и лугово-черноземовидные почвы - пойменные и горно-буро-таежные почвы	до 9,0 8,6
5	Тип почв по механическому составу, %: - легкие суглинки - средние суглинки - тяжелые суглинки - глинистые - другие (супесь, песок)	17,7 21,3 25,8 31,7 3,5
6	Рельеф	в основном ровный
7	Пределы удельного сопротивления почв, кН/м	40...70

Из экономической оценки, приведённой на портале Правительства Амурской области [143] по состоянию на 1.08.2024 г. видно, что рентабельность производства основной культуры - сои в Южной зоне Амурской области составляет около 70,4%, в Центральной - 21,1% и Северной зоне области – 5,1%.

Производство зерновых и технических культур (пшеница, ячмень, овёс, кукуруза, соя и др.) в Центральной и Северной зонах области незначительное, в связи с низкой рентабельностью производства, большими затратами на приобретение (обновление) новой сельскохозяйственной техники и агрегатов, а также малыми суммами выделяемых на нее субсидий [24,25,83,143,187,190].

Среди новых эффективных решений в сфере почвообработки, которые позволяют значительно интенсифицировать процесс выращивания зерновых культур, является внедрение в производство новых конструкций комбинированных машин - глубокорыхлителей, что обеспечивает более качественную предпосевную подготовку почвы, обработку почвы после уборки возделываемых культур, восстановление поверхностного слоя и рыхление уплотненных слоев почвы, лущения стерни, обработки паров, а также глубокой (до 35 см) и средней по глубине обработки почвы, предупреждая развитие ветровой и водной эрозии почв на полях Амурской области.

В условиях Амурского региона глубокое рыхление подпахотных горизонтов имеет важнейшее значение для сохранения плодородия и улучшения фильтрации и влагоемкости, так как при многократных проходах колёсных энергетических средств происходит значительное уплотнение почвенного слоя, что сопровождается снижением поглощающей способности почвы и глубины проникновения корневой системы сельскохозяйственных растений.

Ежегодно при помощи глубокорыхлителей в Амурской области обрабатывается от 30 тыс. до 50 тыс. га сельскохозяйственных угодий [21,84,143,168]. Как правило, рыхление земли на глубину до 0,35 м осуществляется на полях хотя бы раз в два года. Основным положительным моментом использования глубокорыхлителей при обработке почвы в условиях Амурского региона является возможность накопления в верхних и нижних слоях

почвы необходимого количества влаги, особенно в осенне-зимний период. Кроме этого, применение глубокорыхлителей в комбинированной конструкции машины дает возможность максимально использовать поля с имеющимися на них водными блюдцами или родниковыми выходами, для сельско-хозяйственных культур.

В настоящее время основной сельскохозяйственной технической культурой, выращиваемой в Амурской области, является соя (более 75% от всех посевов), при этом за последние годы производство сои в области значительно увеличилось (рисунок 1.4).

Так, в 2024 году было произведено 612,6 тыс. тонн зерновых культур, при этом урожайность зерновых с убранной площади составила в среднем 25,1 ц/га. В 2025 году также планируется прирост валового сбора на 33% (+147,6 тыс. тонн), урожайность - на 7,6% (+1,9 ц/га).

Валовый сбор сои соответственно составил 1 398,6 тыс. тонн при средней урожайности с убранной площади 18,2 ц/га. В 2025 году планируется прирост валовых сборов на 10% (+149,7 тыс. тонн), по урожайности - на 4,4% (+0,8 ц/га).

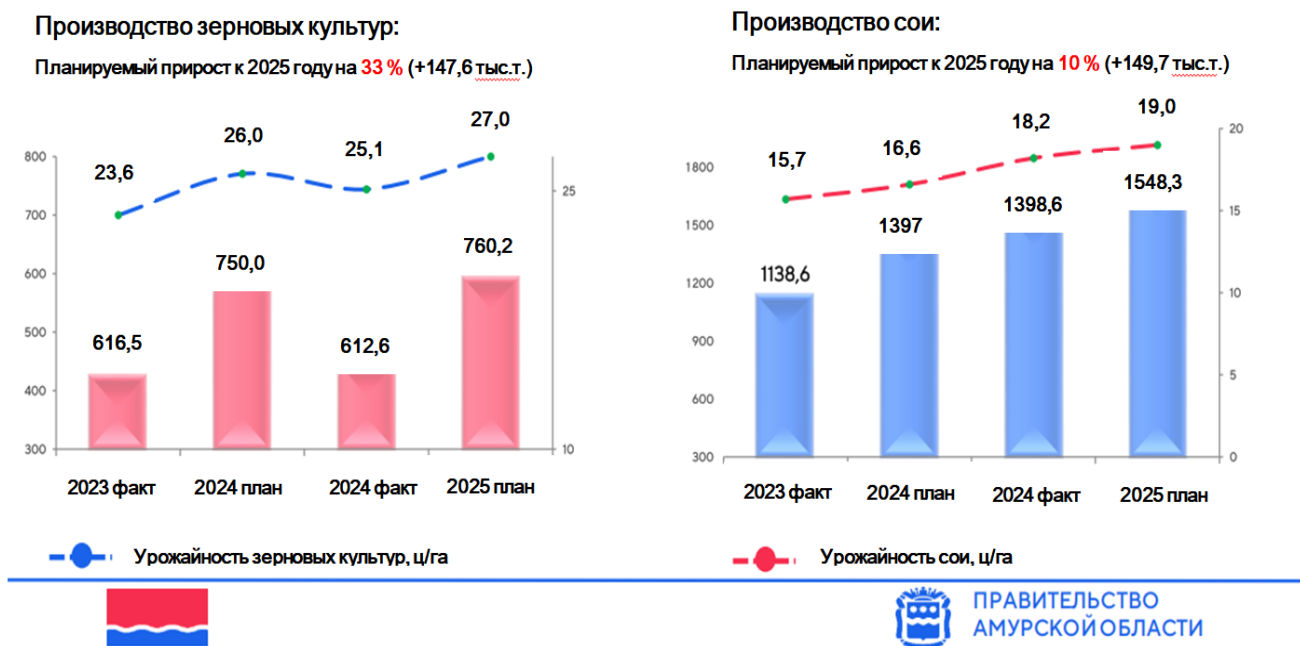


Рисунок 1.4 – Производство зерновых и сои в области по данным агропромышленного портала Правительства Амурской области [143]

Общая посевная площадь региона в области в 2024 году составила 1 142,7 тыс. га, из них по сою использовалось 900,3 тыс. га (78,7%).

В 2025 году планируется на 9% (+104 тыс. га) увеличить посевную площадь, при этом для производства зерновых культур на 22% (+40 тыс. га), сои на 39% (+5 тыс. га). Тогда общая площадь посевов сои составит 72,6%, зерновых - 18,2% (рисунок 1.5).

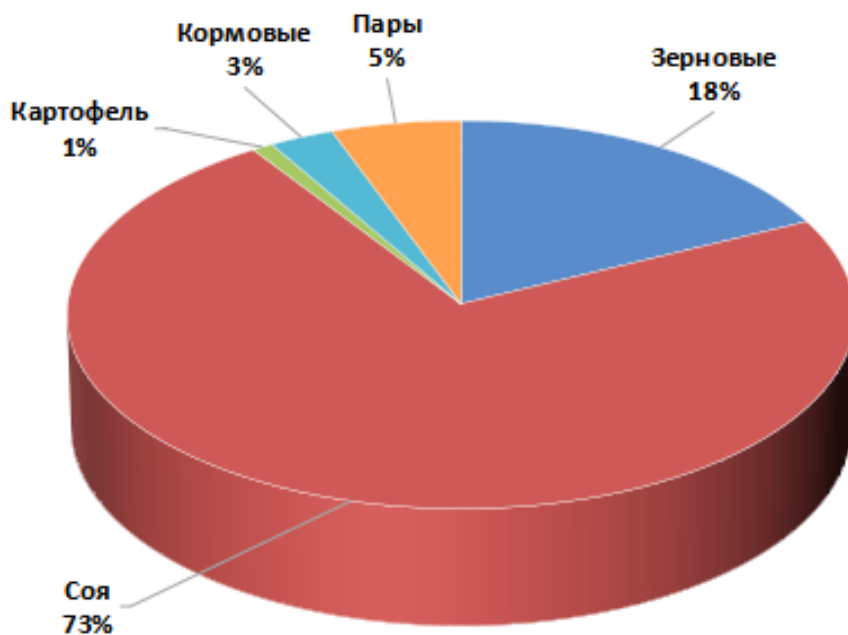


Рисунок 1.5 – Структура пашни в области по данным агропромышленного портала Правительства Амурской области [143].

Выращивание сои в Амурской области всегда было экономически выгодно для развития сельского хозяйства региона. Даже в нынешнее время, когда ценовая политика, связанная с производством культуры, не является стабильной и не вполне обоснована. Возделыванием зерновых и бобовых, в том числе и сои занимаются как сельскохозяйственные предприятия области, так и фермерские (крестьянские) хозяйства (таблица 1.2) [21,25,34,168,183].

Таблица 1.2 - Производство зерна и сои в области по категориям хозяйств

Показатель	Сельскохозяйственная продукция	Год					
		2019	2020	2021	2022	2023	2024
Производство, тыс. т	зерно	412,5	409,2	410	516,3	616,5	612,6
	соя	1121,1	1118	1119,6	1239	1397	1398,6
Общая посевная площадь, тыс. га		997	998,8	998,4	1030	1142,9	1142,7
в том числе:							
под зерновыми культурами		157	161,1	160	167	180	191,6
под соей		817	829	823	833	862	900,3
С 1 га. убранных площадей получено, ц	зерно	20,7	20,6	21,2	23,5	24,3	25,1
	соя	13,4	14,3	15	15,7	17,6	18,2
Доля производства сельскохозяйственных организаций, %	зерно	70,1	71,4	73,5	76,2	77	78,1
	соя	61,3	62,4	63	65,1	67,2	68,5
Доля производства крестьянских хозяйств, %	зерно	29,9	28,6	26,5	23,8	23	21,9
	соя	38,7	37,6	37	34,9	32,8	31,5

В соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 01.12.2022 № 2201 и от 18.01.2023 № 42, для закупки новых машинно-тракторных агрегатов и сельскохозяйственных орудий, проведения эффективных агротехнических работ по обработке почвы, а также для повышения ее плодородия, ресурсосбережения и улучшения физико-механических свойств почвы, сельскохозяйственным организациям области и отдельным фермерским хозяйствам выделяются денежные средства в виде субсидий, а на федеральном уровне контролируется выполнение программы по производству и переработке зерновых культур и сои [182,186,200,204,205].

Исследованиями установлено, что используемые в сельском хозяйстве высокоэффективные машинно-тракторные агрегаты оказывают значительное техногенное воздействие на пахотный слой почвы при проходе. При этом уплотнение от воздействия их колес и гусениц на почву распространяется до 1 м в глубину, до 0,8 м в поперечном направлении и сохраняется до следующего вегетационного сезона (таблица 1.3) [8,26,70,74,139,150,183,201].

Таблица 1.3 - Воздействие движителей тракторов на почву

Марка трактора	Масса, кг	Удельное давление, МПа	Плотность почвы при однократном проходе трактора, г/см ³
ДТ-75М	7000	0,05	1,15
Т-4А	8300	0,05	1,20
МТЗ-80	3600	0,12	1,32
Т-150К	8200	0,14-0,2	1,35
К-701	13 500	0,15-0,25	1,42
К-744Р2	15 700	0,16-0,26	1,50
К-744Р3	17 500- 20 000	0,17-0,27	1,55

Что обосновано недостаточным обновлением состава тракторного парка организаций, невозможностью покупки новой ресурсосберегающей техники, износом и необходимостью содержания в работоспособном состоянии имеющихся тракторов. При этом количество списанных тракторов значительно превышает количество приобретенных (рисунок 1.6, 1.7).

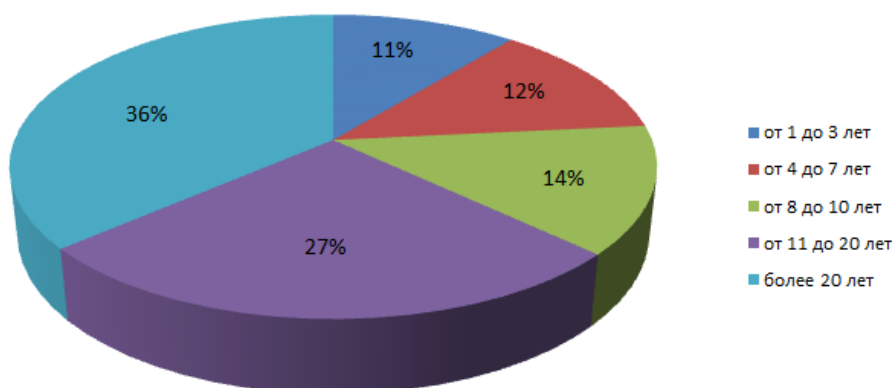


Рисунок 1.6 – Структура парка сельскохозяйственной техники

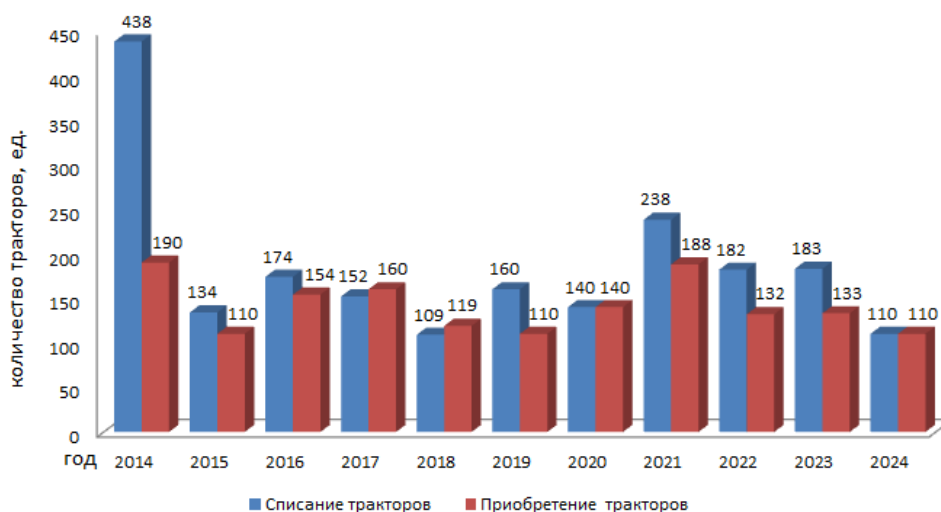


Рисунок 1.7 – Приобретение и списание тракторов в области

В тоже время нагрузка на один физический трактор существенно возрастает (рисунок 1.8).

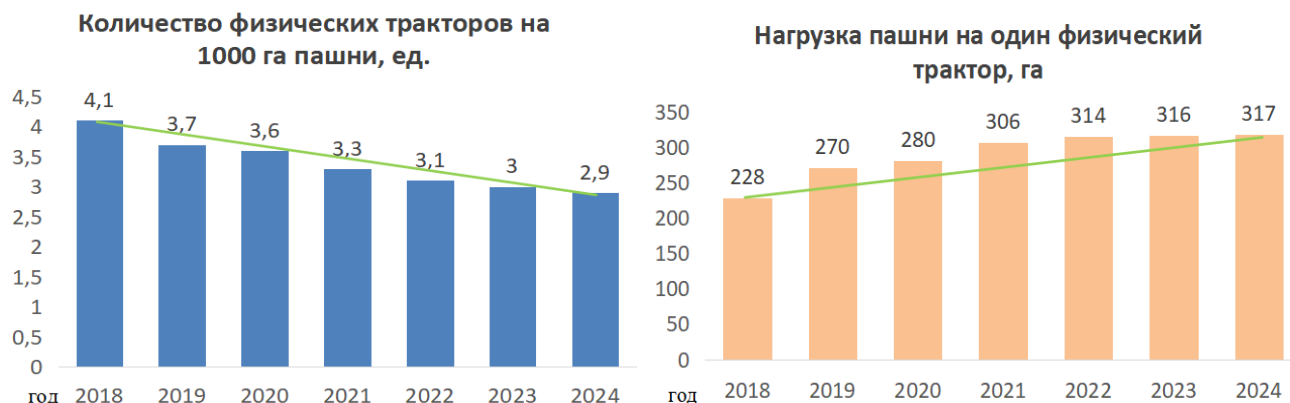


Рисунок 1.8 – Соотношение имеющихся в области тракторов и нагрузки на один физический трактор [121,122]

По данным Правительства Амурской области в КФХ и личном подсобном хозяйстве используются до 57% колёсных энергетических средств разного типа, а в сельскохозяйственных организациях соответственно до 43%. При этом колёсные тракторы класса 5-8 занимают около 41 % от общего состава тракторного парка, из них 12 % - новые машины, срок эксплуатации которых не превышает трех лет и 88 % – устаревшие модели (рисунок 1.9).

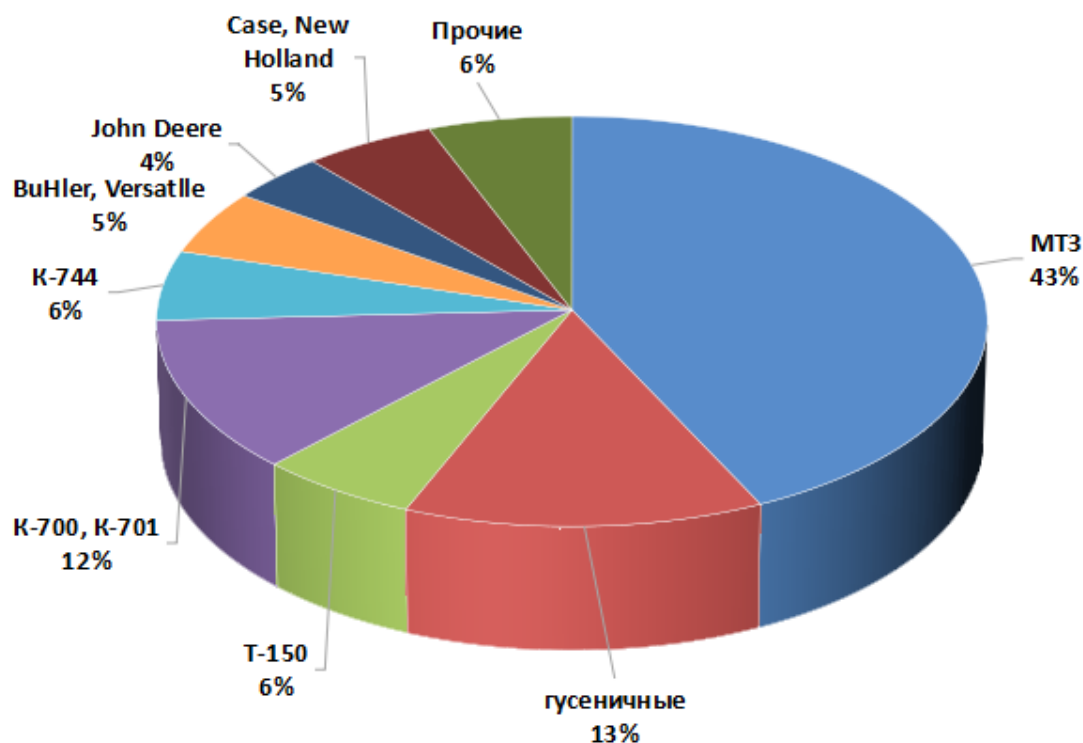


Рисунок 1.9 - Структура марочного состава тракторного парка в области [121]

Хотя темпы обновления сельскохозяйственной техники растут, её количество в хозяйствах неуклонно снижается, и на фоне необходимого ежегодного роста посевных площадей большой объём сельскохозяйственных работ ведётся на изношенной технике, эксплуатирующийся сверх нормативных сроков [70,72,144,145,149,151,161,181,182,202,206].

1.2 Обзор применяемых для процесса щелевания в Амурской области комбинированных разуплотняющих агрегатов

В целях повышения урожайности сельскохозяйственных культур в условиях Амурской области, снижения воздействия ходовых систем и движителей на почву, уменьшения переуплотнения почвы, и формирования подпахотной плужной подошвы, улучшения водопроницаемости и сохранения плодородия почвы, аграриями области все чаще применяется метод щелевания в процессе основной обработки полей.

Применение различных видов конструкций щелевателей в комбинированных почвообрабатывающих агрегатах позволяет в кратчайшие сроки уменьшить переуплотнение почвы, восстановить её влаговоздушный баланс и создать оптимальные благоприятные условия для роста и развития сельскохозяйственных культур при обработке почвы или в процессе посева, при этом почвообрабатывающее орудие, используемое для процесса щелевания, адаптируют к возможностям конструкции трактора, в частности используя перенос сцепного веса трактора [86,87,88,90,141,158,178-184] для догружения, снижения его энергоёмкости при соблюдении параметров эффективности в ходе проведения полевых операций.

В перечне сельскохозяйственных орудий известно большое количество конструкций и рабочих схем, предназначенных для проведения работ по щелеванию полей [89,93,94]. Примерная методологическая схема почвообрабатывающих орудий для щелевания почв предложена на рисунке 1.10.

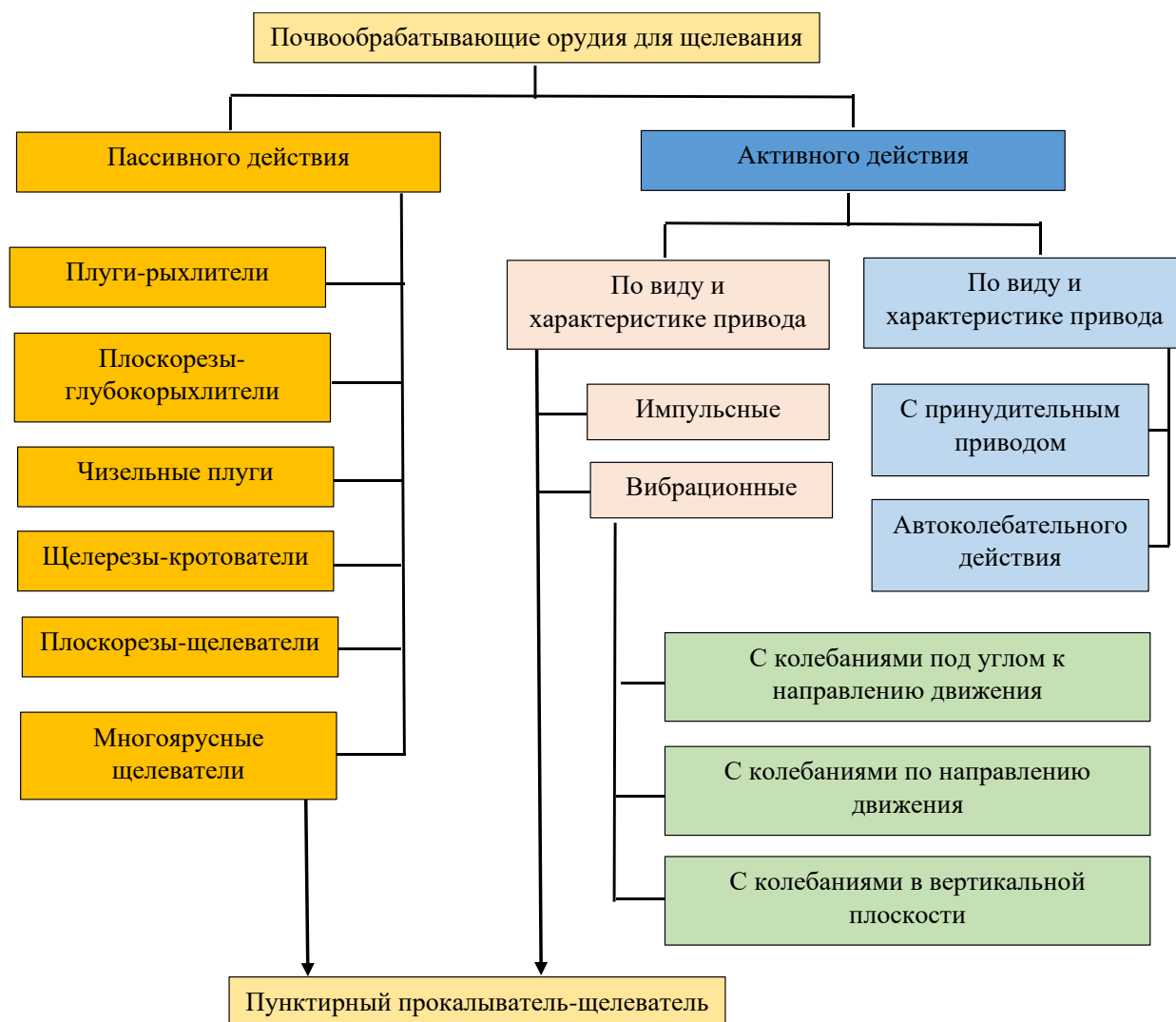


Рисунок 1.10 - Методологическая схема почвообрабатывающих орудий для щелевания почв

Для обработки почвы в Амурской области в основном применяется тяжелая сельскохозяйственная техника высоких тяговых классов 5-8, марки «Versatile», «Case», «New Holland», «John Deere», отечественные «Кировец»: К-700 (К-701), К-744 с современными широкозахватными почвообрабатывающими агрегатами [105,125], в основном на обширных массивах с большой длиной гона [77,81,113].

Необходимость предохранения почвы от излишнего переуплотнения и разрушения, сохранности почвенной влаги в верхних и нижних слоях почвы, оптимальной загрузки колёсных энергетических средств, а также проведения в агротехнические сроки обработки почвы и посева сельскохозяйственных культур обусловили разработку целого ряда комбинированных почвообрабатывающих и посевных агрегатов [13,14, 129, 193].

Разработка таких технических средств для совмещения технологических операций в процессе обработки почвы осуществляется и применяется различными способами [136]:

Первый способ – это соединение в последовательный ряд нескольких однооперационных агрегируемых машин или орудий в один комбинированный почвообрабатывающий агрегат.

Второй способ – это компоновка на общей раме различных рабочих органов для выполнения за один проход нескольких технологических операций.

Третий способ – это создание специальных рабочих органов, которые одновременно выполняют две или более технологические операции одновременно.

Как правило, в целях снижения количества проходов техники, операции при подготовке почвы к посевным работам необходимо свести к максимуму за единичный проход за счёт их совмещения. Так как в этом случае значительно повышается КПД используемого комбинированного агрегата [37].

1.2.1 Щелеватели-плоскорезы глубокорыхлители

Щелеватели-плоскорезы предназначены для проведения глубокорыхления, нарезания щелей в процессе основной обработки почвы на глубину до 0,35 м, с сохранением большого количества пожнивных остатков и образования мульчирующего слоя на поверхности почвы, а также эффективного подрезания сорной растительности. В Амурской области в основном применяются щелеватели-плоскорезы глубокорыхлители следующих модификаций: КПП-2,2; КПП-2-150; КПП-250А; ГУН-4; ПП-3-100, ППН-5; ПП-5; ПП-3-5 (рисунок 1.11) и др. аналоги [99,102,140].

Рабочий орган этих агрегатов выполнен в виде стреловидной симметричной формы лапы.



Рисунок 1.11 – Конструкция щелевателя-плоскореза глубокорыхлителя ПГ-3-5

Основные характеристики щелевателей-плоскорезов глубокорыхлителей ПГ-3-100, КПГ-2,2 и ПГ-3-5 представлены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 - Основные характеристики щелевателей-плоскорезов глубокорыхлителей.

Основные показатели	Значения показателя		
Марки агрегатов	ПГ-3-100	КПГ-2,2	ПГ-3-5
Тяговый класс трактора	3	3	5
Тип соединения средством с энергетическим	навесной		
Тип рабочих органов	плоскорезущая лапа		
Количество рабочих органов, шт.	3	2	5
Ширина захвата рабочего органа, м	1,1	1,1	1,1
Удельная материалоемкость, кг/м	225	479	343
Ширина захвата орудия, м	3,2	2,15	5,3
Глубина обработки, м	0,15...0,30	0,12...0,25	0,15...0,30
Рабочая скорость, м/с	до 2,77	до 2,77	до 2,77
Производительность, га/ч	2,6...3,0	1,4...2	2,3...4,3
Среднее отклонение глубины обработки от заданной, см	1,5	1,5	1,5
Количество почвенных фракций размером 0...50 мм (фактическое), %	58...60	58...60	58...60
Дорожный просвет, мм	300	300	300
Масса, кг	720	1030	1820
Габаритные размеры, мм:			
- длина	2,10	4,3	2,55
- ширина	3,20	2,15	5,20
- высота	1,55	2,2	1,80

Рабочие органы щелевателя-плоскореза глубокорыхлителя выполняют технологический процесс основной безотвальной обработки почвы по следующей схеме, показанной на рисунке 1.12.

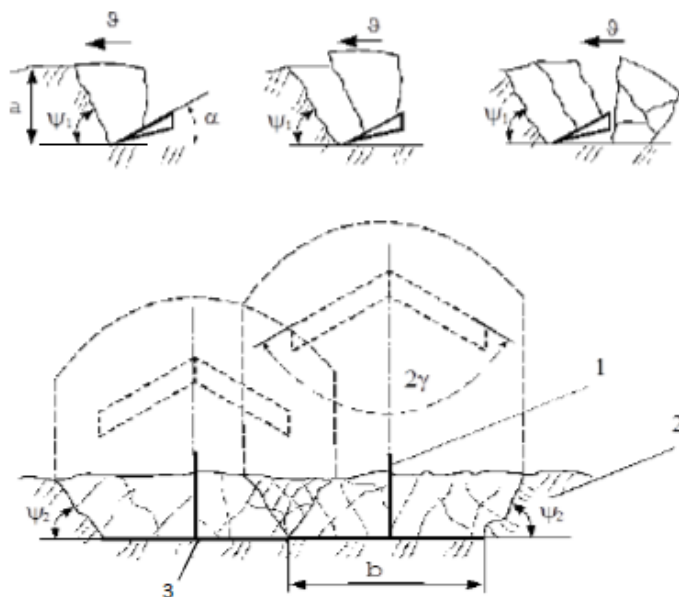


Рисунок 1.12 - Схема выполнения технологического процесса основной безотвальной обработки почвы щелевателем-плоскорезом глубокорыхлителем: 1 - лапа плоскореза; 2 - почва; 3 – плужная подошва; a – глубина обрабатываемого слоя почвы; b - ширина захвата рабочего органа, м; α - угол установки лемеха к дну борозды, град.; ψ_1 - угол сдвига почвы в продольно-вертикальной плоскости, град.; ψ_2 - угол сдвига почвы в поперечно-вертикальной плоскости, град.; 2γ - угол раствора, град.; v - скорость поступательного движения, м/с

В процессе обработки почвы происходят следующие действия (рисунок 1.12):

1. Верхний подстилающий слой почвы деформируется и отделяется от основной массы почвы;
2. Отделенный пласт поднимается вверх и крошится;
3. Отделенный пласт опускается вниз без перемешивания с основной массой почвы.

В результате созданного напряжения, возникающего в ходе деформации почвы, происходит крошение отслаиваемого пласта земли.

1.2.2 Чизельные плуги

Чизельные плуги применяются для глубокого рыхления и разрушения «плужной подошвы» на глубину до 45 см в процессе основной обработки почвы, со сплошным рыхлением до 20 см.

В Амурской области применяются следующие марки чизельных плугов: ПЧ-2,5; ПЧ-4,5; ПЧН-3,2; ПЧН-4 и др. (рисунок 1.13). Рабочие органы этих плугов выполнены в виде плоской вертикальной стойки, на которую устанавливают рыхлительную или стрельчатую лапу [184].



Рисунок 1.13 - Чизельный плуг ПЧ-4,5

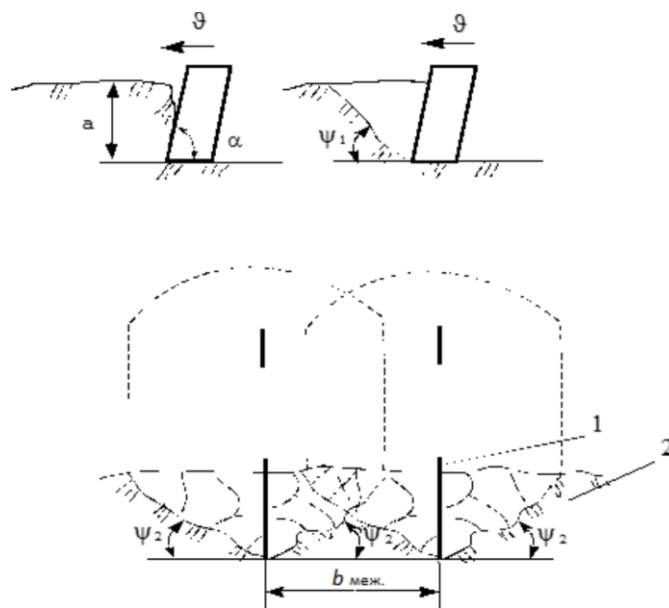
Основные характеристики чизельных плугов представлены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 - Основные характеристики чизельных плугов

Основные показатели	Значение показателя	
Марка орудия	ПЧ-2,5	ПЧ-4,5
Тяговый класс	3; 4	5
Тип соединения с энергетическим средством	навесной	навесной
Тип рабочих органов	долото или стрельчато-коническая лапа	
Количество рабочих органов, шт.	5	11
Расстояние между рабочими органами, м	0,4...0,6	0,4...0,6
Ширина захвата рабочего органа, м:		
- с долотом	0,07	0,07
- со стрельчато-конической лапой	0,27	0,27
Удельная материалоемкость, кг/м	380	422
Ширина захвата, м	2,5	4,5
Глубина обработки, м:		
- с долотом	0,30...0,45	0,30...0,45

- со стрельчато-конической лапой	0,20...0,30	0,20...0,30
Рабочая скорость, м/с	до 2,22	до 2,22
Производительность, га/ч	до 2	до 3,2

Схема технологического процесса основной безотвальной обработки почвы, выполняемой рабочими органами чизельного плуга, представлена на рисунке 1.14 [56].



Рисунке 1.14 – Схема выполнения технологического процесса основной безотвальной обработки почвы рабочими органами чизельного плуга: 1 – рыхлительная лапа; 2 – почва; a – глубина обрабатываемого слоя почвы; $b_{\text{меж.}}$ – расстояние между рыхлительными рабочими органами, м; v – скорость поступательного движения, м/с.

В результате обработки почвы рабочими органами чизельного плуга происходят следующее (рисунок 1.14) [56]:

1. Вертикальная деформация отслаиваемого пласта почвы;
2. Образуются разнородные массы, которые скользят под углом к продольной и поперечной плоскости чизельного рабочего органа.

1.2.3 Плуги-рыхлители

Плуги-рыхлители предназначены для глубокой обработки почвы до 40 см, с целью разрушения плужной подошвы, препятствующей проникновению корней растений в нижние слои почвы и затрудняющей поступление грунтовой воды в пахотный горизонт.

В Амурской области применяются следующие марки плугов-рыхлителей: ПРПВ-4-50, ПРПВ-5-50 и ПРПВ-8-50. (рисунок 1.15). Рабочий орган плугов-рыхлителей выполнен в виде плоской стойки с долотом на конце, и имеющей наклон в поперечно-вертикальной и продольно-вертикальной плоскости.



Рисунок 1.15 - Плуг-рыхлитель ПРПВ-5-50 с наклонными стойками типа «Параплау»

Основные характеристики плугов-рыхлителей, оснащенных плоскими наклонными стойками типа «Параплау», представлены в таблице 1.6 [152]

Таблица 1.6 - Основные характеристики плугов-рыхлителей

Основные показатели	Значение показателя		
	ПРПВ-4-50	ПРПВ-5-50	ПРПВ-8-50
Марка орудия	ПРПВ-4-50	ПРПВ-5-50	ПРПВ-8-50
Тяговый класс трактора	3	4;3	5
Тип соединения с энергетическим средством	навесной		
Тип рабочих органов	рыхлительный корпус «Параплау»		
Количество рыхлительных корпусов, шт.	4	5	8
Количество рифленых дисковых ножей, шт	4	5	8
Диаметр рифленого дискового ножа, мм	435	435	435

Ширина захвата орудия, м	2	2,5	4
Удельная материалоемкость, кг/м	550	528	560
Глубина обработки, м	0,25...0,40	0,25...0,40	0,25...0,40
Рабочая скорость, м/с	до 2,7	до 2,7	до 2,7
Сплошное рыхление верхнего слоя почвы при общей глубине обработки 45 см	не менее 20	не менее 20	не менее 20
Производительность основного времени, га/ч	1,3...2	1,6...2,5	3,2
Количество почвенных фракций размером 0...50 мм (фактическое), %	50...60	50...60	50...60
Гребнистость поверхности обработанного поля, см	не более 5	не более 5	не более 5
Масса, кг	1100	1320	2240
Габаритные размеры, м:			
- длина	н.д.	3,42	5,27
- ширина		1,62	1,62
- высота		1,6	1,6

На рисунке 1.16 представлена работа плуга-рыхлителя с плоской наклонной стойкой типа «Параплау» при основной обработке почвы [185].

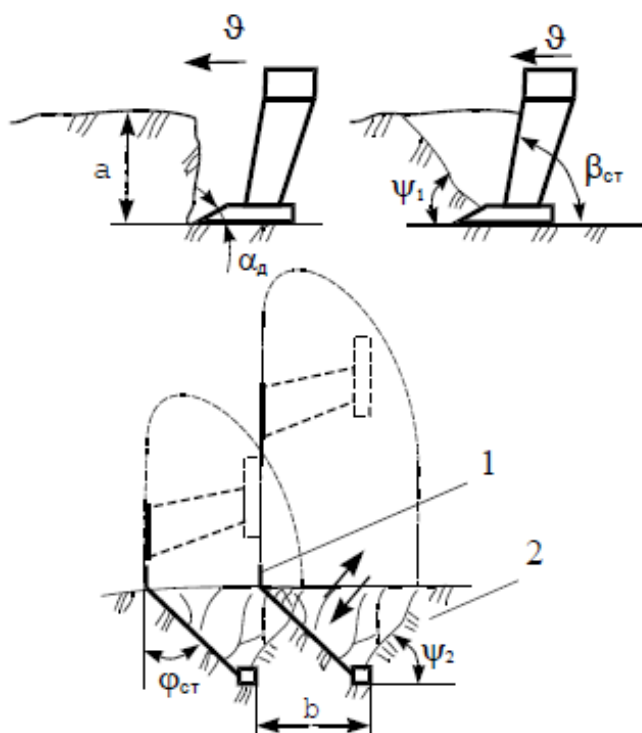


Рисунок 1.16 - Схема выполнения технологического процесса основной обработки почвы рабочими органами плуга-рыхлителя с плоской наклонной стойкой типа «Параплау»: 1 – рыхлительный корпус типа «Параплау»; 2 – почва;

a - глубина обработки, см; b – междуследие рабочих органов, см; v – скорость поступательного движения, м/с; $\beta_{ст}$ - угол наклона стойки в продольно-вертикальной плоскости, град; $\varphi_{ст}$ – угол наклона стойки в поперечно-вертикальной плоскости, град; α_d - угол крошения долота, град.

В результате обработки почвы рабочими органами плуга-рыхлителя (рисунок 1.16) происходит крошение пласта почвы:

1. Деформация и отделение пласта от основной массы, его крошение;
2. Подъем отделенного пласта под углом к поперечной плоскости рабочего органа.

1.2.4 Многоярусные щелеватели

Многоярусные щелеватели предназначены для проведения основной обработки почвы на глубину от 16 до 35 см, с твердостью почвы до 4,5 МПа и влажностью до 30%. Эти щелеватели могут применяться на всех типах почв, кроме почв, засоренных камнями, плитняком и прочими твёрдыми включениями[109,189].

Одним из видов многоярусного щелевателя, применяемого в Амурской области, является комбинированное почвообрабатывающее орудие КОМБИ-6 (рисунок 1.17)



Рисунок 1.17 - Комбинированное почвообрабатывающее орудие КОМБИ-6

Основная характеристика почвообрабатывающего орудия КОМБИ-6 представлена в таблице 1.7 [189].

Таблица 1.7 - Основная характеристика почвообрабатывающего орудия КОМБИ-6

Основные показатели	Значение показателя
Тип соединения с энергетическим средством	Навесной
Ширина захвата (конструктивная), м	6,3
Дорожный просвет, мм	450
Габаритные размеры, мм: - длина, ширина, высота	3670; 6450; 1850
Масса орудия, кг	2656
Количество рабочих органов, шт.:	9
- рыхлительных	9
- чизельных	
Пределы регулирования рабочих органов по глубине, см:	0-25
- рыхлительных	10-40
- чизельных	
Количество рядов рабочих органов, шт.:	2
- рыхлительных	2
- чизельных	
Расстояние между рабочими органами в ряду, мм	700
Расстояние между стойками смежных рабочих органов, мм	350
Расстояние от опорной плоскости корпусов до нижней плоскости рамы, мм:	700
- рыхлительных	850
- чизельных	

Конструктивно-технологическая схема почвообрабатывающего орудия КОМБИ-6 представлена на рисунке 1.18 [111,155,156,189].

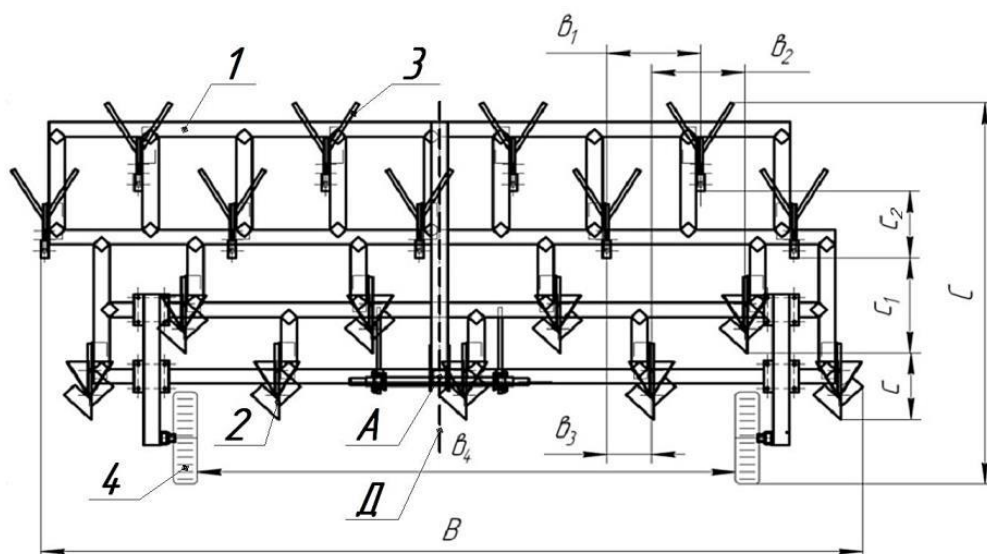


Рисунок 1.18 - Конструктивно-технологическая схема почвообрабатывающего орудия КОМБИ-6: 1 – рама; 2 – рыхлительный рабочий орган; 3 – чизельный

рабочий орган; 4 – опорное колесо с механизмом регулировки глубины; А – точка прицепа почвообрабатывающего орудия; Д – линия тяги трактора; В – ширина захвата орудия (6,3 м); С – длина орудия (3,2 м); v_1 – расстояние между чизельными рабочими органами в ряду (0,7 м); v_2 – расстояние между рыхлительными рабочими органами в ряду (0,7 м); v_3 – расстояние между рыхлительными и чизельными рабочими органами в ряду, (0,35 м); v_4 – расстояние между опорными колесами (4,0 м); c – расстояние между рыхлительными рабочими органами по ходу (0,6 м); c_1 – расстояние между рыхлительными и чизельными рабочими органами по ходу (0,7 м); c_2 – расстояние между чизельными рабочими органами по ходу (0,6 м).

В настоящее время в хозяйствах Амурской области для обработки почвы задействованы различные виды энергетических средств, в том числе и тракторы серии К-700 и К-744, которые применяются в составе машинно-тракторного агрегата с различными российскими и иностранными навесными устройствами и машинами для обработки почвы.

Применение описанных выше приспособлений и агрегатов (щелеватели-плоскорезы, чизельные плуги, плуги-рыхлители и др.) возможно в составе МТА с тракторами тягового класса 5. При этом использование различных комбинированных почвообрабатывающих орудий агрегируемых тракторами тягового класса 5тс (К-701; К-744 Р1) в виде ПБК-5,4; ПБК-4,8 (Ч); КОМБИ-6 позволяют более эффективно проводить обработку почвы, но из-за высоких цен на неё, а также материального и финансового состояния не все хозяйства имеют возможности по её приобретению. Решить данную проблему предлагается за счёт использования новых технических решений и разработки на их основе более эффективных комбинированных почвообрабатывающих машин.

1.3 Исследования по вопросу снижения переувлажнения опорной поверхности

Одной из главных причин, снижающих эффективность использования машинно-тракторных агрегатов в технологии возделывания сельскохозяйственных культур в Амурской области, является переувлажнение почвы в период проведения основных работ, связанных с посевом и уборкой урожая. В связи с чем необходимо проводить подготовительные работы, направленные на устранение обозначенной выше проблемы. Одной из таких работ является щелевание почвы, которое способствует отводу влаги от верхних слоев почвы к более низким, тем самым снижая переувлажнение верхнего плодородного слоя почвы. Данному вопросу посвящено достаточное количество исследований, направленных на улучшение процесса щелевания и подготовки почвы.

Вопросу определения параметров рабочих органов комбинированного почвообрабатывающего орудия, предназначенного для накопления влаги в засушливых зонах западной Сибири посвящена работа Д.А. Голованова [32]. Автор на основании проведенных исследований предложил определять количество необходимых в межщелевом пространстве лунок для обеспечения влаги, просачивающейся в почву по формуле

$$n_{л} = \frac{0,2 \cdot x \cdot l_{щ} - \frac{b}{x} \cdot b_{щ} \cdot l_{щ}}{0,6366R \cdot b_3 \cdot L + 2R \cdot b_3 [L - \sin L]} \quad (1.1)$$

где $l_{щ}$ - длина щели, м; b - ширина участка, м; $b_{щ}$ - ширина щели, м; b_3 - ширина зуба, м; R - условный радиус, соединяющий центр катка с максимально удаленной точкой, $L = \arccos\left(\frac{R-h}{R}\right)$, м; h - глубина лунки, м.

Анализ полученной формулы (1) показал, что количество лунок необходимых в межщелевом пространстве зависит от длины и ширины щели и габаритного размера рабочего органа зуба.

Рассматривая исследования С.Л. Дёмшина [60] можно отметить математическую зависимость, которая позволяет при определенных параметрах

использования конструкции плоскорежущей лапы (угла крошения почвы, ширины лемеха) сельскохозяйственного почвообрабатывающего агрегата и технологического процесса глубокой обработки почвы (глубины хода рабочих органов и скорости проводимых работ) определить минимально допустимое расстояние между рядами плоскорежущих лап и дисковых секций. Исходя из параметров работы почвообрабатывающего агрегата, используемого при глубокой обработке среднесуглинистой дерново-подзолистой почвы С.Л. Дёмшин установил, что оптимальное значение расстояния между рядами плоскорежущих лап и дисковых секций будет составлять 0,50-0,55 м.

Разработке и обоснованию циклоидальных штанговых рабочих органов для обработки почвы при проведении глубокого рыхления посвящена работа А.В. Котельникова [96]. По результатам проведенных исследований А.В. Котельников предложил определять удельное сопротивление почвы, действующее на стойку почвообрабатывающего агрегата при глубоком рыхлении почвы по выражению

$$\sigma = E \cdot \varepsilon = \frac{P_{II}}{S_{II}} = p_{II} \cdot b \cdot h_{II} \cdot \sin \alpha_{II} \quad (1.2)$$

где E – модуль Юнга; P_{II} – сила сопротивления второго участка стойки; p_{II} – твёрдость почвы на втором участке; S_{II} – площадь сечения пласта в пределах второго участка; α_{II} – средний угол подъёма второго участка стойки.

В тоже время А.Н. Куваев в своей работе [101], взяв за основу рациональную формулу В.П. Горячкина [40] по определению общего тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия, предложил определять удельное сопротивление всего почвообрабатывающего агрегата в период проведения глубокой обработки почвы по следующему выражению

$$k = \frac{P_{\text{тяг}} - G_0 \cdot f_k - G_{\text{ро}} \cdot f_c - \rho \cdot a \cdot B_p \cdot V_p^2}{a \cdot B_p} \quad (1.3)$$

где $P_{\text{тяг}}$ – общее тяговое сопротивление почвообрабатывающего орудия, Н.; G_0 – общий вес почвообрабатывающего орудия, Н.; f_k – коэффициент трения качения стальных колес по почве; f_c – коэффициент трения скольжения почвы по стали; a – глубина обработки, м.; B_p – ширина захвата почвообрабатывающего

орудия, м.; ρ – плотность почвы, кг/м³; V_p – поступательная скорость движения почвообрабатывающего орудия, м/с; В результате проведенных исследований А.Н. Куваев определил величину удельного сопротивления почв для Северного Казахстана.

Совершенствуя технологический процесс глубокой обработки почвы за счет разработки комбинированного рабочего органа А.Е. Доценко в своей работе [64], воспользовавшись формулой академика В.П. Горячкина, усовершенствованной В.В. Труфановым [40], предложил определять тяговое сопротивление почвообрабатывающего орудия агрегируемого колёсным энергетическим средством при технологическом процессе глубокой обработки почвы по следующей формуле

$$R_n = Gf + kHb_{po}n_k + \varepsilon Hb_{po}n_k V^2 \quad (1.4)$$

где R_n – тяговое сопротивление почвообрабатывающего орудия, Н; k – коэффициент, характеризующий способность почвенного пласта сопротивляться деформации, Н/м²; G – сила тяжести почвообрабатывающего орудия, Н; f – коэффициент трения корпуса почвообрабатывающего орудия о почву; ε – коэффициент, зависящий от формы рабочего органа и свойств почвы, Н·с²/м⁴; H – глубина обработки почвы, м; b_{po} – ширина захвата рабочего органа, м; n_k – количество рабочих органов, шт.; V^2 – рабочая скорость пахотного агрегата, м/с.

При этом В.В. Труфановым решалась задача, как отвода излишков влаги, так и создания более благополучных условий для развития посевного материала, следовательно, уменьшения сроков технической спелости культур и увеличения их валового сбора.

В своей работе В.В. Геращенко [29] предлагает оценивать тягово-цепные свойства колёсного энергетического средства по запасу проходимости МТА с навешанным сельскохозяйственным оборудованием во время проведения щелевания

$$\Pi = \frac{\varphi_{\text{доп}} K_3 \lambda_K}{K_m \left[\psi \pm \left(\frac{\delta_{\text{вп}}}{g} \right) \frac{dv}{dt} \right]} \quad (1.5)$$

где: $\varphi_{\text{доп}}$ – коэффициент использования сцепления, соответствующий допустимому буксованию ведущих колес; k_3 – коэффициент запаса сцепления; λ_k – коэффициент вертикальной нагрузки ведущих колес; ψ – коэффициент сопротивления; $\delta_{\text{вр}}$ – коэффициент учета вращающихся масс; g – ускорение свободного падения, м/с²; $\frac{dv}{dt}$ – линейное ускорение агрегата.

Опираясь на исследования, проведенные доктором технических наук В.М. Бойковым [18] и кандидатом технических наук Е.С. Нестеровым [124], при разработке почвообрабатывающего орудия для глубокой обработки почвы О. М. Кожаберген в своей работе [91] привел формулу (1.6) для определения тягового сопротивления рабочего органа сельскохозяйственного орудия, навешанного фронтально на колёсный трактор тягового класса 5, используемого для рыхления почвы методом щелевания

$$R_{\text{ч}}^{\text{б}} = \frac{S_c \sigma_c k_1 + V_c \rho g k_2 + V_c v^2 \rho k_3}{l_d}, \text{ кН} \quad (1.6)$$

где: S – площадь поверхности сдвига объёма почвы чизельным рабочим органом, м²; σ_c – напряжение сдвига почвы, кПа; V_c – объем сдвигаемой почвы, м³; ρ – плотность почвы; кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; v – скорость движения рабочего органа, м/с; l_d – длина долота рабочего органа, м; k_1 , k_2 и k_3 – сокращенная запись выражений в которых входят углы α_d , ψ_1 и ψ_2 .

В результате проведённых экспериментов О. Кожаберген пришел к выводу, что эффективность проводимых работ по глубокой обработке почвы методом щелевания будет зависеть от глубины прокалывания почвы. Что также способствует хорошему отводу влаги с верхних слоев почвы к более низким, приводя к снижению переувлажнения верхнего плодородного слоя почвы. При этом глубина прокола почвы будет в целом зависеть от передаваемого давления на почвообрабатывающий агрегат и плотности почвы. На основе проведенных исследований [91,153] автор предложил определять энергоёмкость $\mathcal{E}_{\text{п}}$ выполнения технологического процесса основной обработки почвы навесным фронтальным плугом-рыхлителем по следующей формуле

$$\mathcal{E}_{\Pi} = \frac{N_{\Pi}}{W_{\Pi}}, \text{ кВтч/га} \quad (1.7)$$

где: N_{Π} – мощность, затрачиваемая на выполнение технологического процесса основной безотвальной обработки почвы навесным фронтальным плугом-рыхлителем, кВтч; W_{Π} – часовая производительность фронтального плуга-рыхлителя, га/ч

Р.Ю. Сысоева [181] в своей работе, опираясь на исследования В.В. Кацыгина, предложила формулу для определения плотности почвы на i -ой глубине

$$P_{hi} = P_{ohi} \left(1 + \frac{\beta_n}{k} \cdot \sigma_{од} \cdot e^{-\beta_n(h_p - l_d)} \cdot e^{-\beta_n l_d} \cdot e^{-\beta_n(h_i - h_p)} \right) \quad (1.8)$$

где: P_{ohi} – плотность почвы на i – ой глубине почвенного горизонта до прохода колёсного движителя трактора по полю, г/см³; β_n – коэффициент распределения напряжений в разрыхленном слое почвы, м⁻¹; k – коэффициент объемного смятия почвы, н/м³; $\sigma_{од}$ – контактное давление движителя на почву при наличии демпфирующего слоя, кПа; h_i – глубина почвенного горизонта, м.; h_p – глубина разрыхленного слоя почвы, м; l_d – толщина разрыхленного слоя почвы, м.

В своих исследованиях А.В. Котельников [96] экспериментально определил, что глубину прокола активного слоя обрабатываемой поверхности почвы для частиц диаметром d от 2 до 10 мм можно определить уравнением

$$x_a = 2,25 \cdot (d - 2) + 19$$

где: d – диаметр частиц структуры почвы, мм.

При этом Д.Ю. Горшенин в своей работе [42] предлагал определять критическую глубину резания почвенного слоя для ножей с углом заострения $\beta = \pi$ при углах резания почвы от 0 до $\pi/2$ во время проведения операции щелевания по выражениям (1.9) и (1.10)

$$h_{кр} = \frac{2tg\left(\frac{\pi + \rho}{4}\right)(\pi + 2)(3 + \pi)\cos\delta\sin\left(\frac{\pi - \rho}{4}\right)l}{4A_1 ctg\rho} \quad (1.9)$$

где: l – ширина ножа, м; ρ – угол внутреннего трения почвы по почве, град;
 α – угол резания почвы, град. $A_1 = \frac{1 - \sin\rho \cos 2\alpha}{1 - \sin\rho}$

$$h_{кр} = \frac{2tg\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\rho}{2}\right)(\pi+2)(3+\pi)l\cos\delta\sin\alpha}{4A_1Mctg\rho} \quad (1.10)$$

где:

$$A_1 = \frac{\cos\delta_1(\cos\delta_1 - \sqrt{\sin^2\rho - \sin^2\delta_1})}{1 - \sin\rho} e^{(2\alpha - \pi + \delta_1 + \arcsin\frac{\sin\delta_1}{\sin\rho})};$$

$$M = \frac{e^{Qtg\rho} - 1}{\sin\rho} + e^{Qtg\rho} \frac{\sin\frac{1}{2}\left(\arcsin\frac{\sin\delta_1}{\sin\rho} - \delta_1\right)}{\sin\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\rho}{2}\right)}$$

δ_1 - угол трения почвы.

$$Q = \alpha - \frac{1}{2}\left(\arcsin\frac{\sin\delta_1}{\sin\rho} - \delta_1\right)$$

Так, многолетние опыты, проведенные множеством исследований, показали, что наиболее эффективным методом в обработке почвы является метод глубокой обработки почвы, когда вспашка почвы осуществляется на глубину от 30 до 35 см [16,22,37]. В результате урожайность сельскохозяйственных культур возрастает в разы (ячменя – на 3,5 ц/га; овса – на 2,6 ц/га; сои - на 46 ц/га) [125]. Это связано с тем, что при глубокой обработки почвы появляется более благоприятный водный режим.

Применяя в сельском хозяйстве Амурской области различные методы и способы глубокой обработки почвы (щелевание, кротование, чизелевание, прокалывание и др.) агрономы области значительно повысили устойчивость почв к эрозии.

По данным А.М. Бурыкина [22] при ежемесячном критическом выпадении осадков в области - более 2,5 мм/мин., после проведения глубокой обработки почвы, водопроницаемость почвы увеличивается до 70-120 мм.

Проводя исследования Д.В. Дроботов [65] опираясь на работы В.П. Горячкина [40,41] пришел к выводу, что рабочий орган почвообрабатывающего агрегата при проведении пахотных работ во время проведения щелевания совершает возвратно-вращательное движение согласно выражениям (1.11) и (1.12) что значительно повышает водопроницающую способность почвы

$$\left(a \cdot b \cdot \gamma \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \tau + \frac{a \cdot b \cdot \gamma}{g} \cdot v_r^2 \cdot k + T \cdot k \right) \cdot \sin \beta < \left(a \cdot b \cdot \gamma \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \tau + \frac{a \cdot b \cdot \gamma}{g} \cdot v_r^2 \cdot k + T \cdot k \right) \cdot \sin \alpha \quad (1.11)$$

и

$$\left(a \cdot b \cdot \gamma \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \tau + \frac{a \cdot b \cdot \gamma}{g} \cdot v_r^2 \cdot k + T \cdot k \right) \cdot \sin \beta \cdot \cos \mu + 2 \cdot f \cdot \left(a \cdot b \cdot \gamma \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \tau + \frac{a \cdot b \cdot \gamma}{g} \cdot v_r^2 \cdot k + T \cdot k \right) \cdot \sin \delta'' + f \cdot \left(a \cdot b \cdot \gamma \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \tau + \frac{a \cdot b \cdot \gamma}{g} \cdot v_r^2 \cdot k + T \cdot k \right) \cdot \sin \beta > \left(a \cdot b \cdot \gamma \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \tau + \frac{a \cdot b \cdot \gamma}{g} \cdot v_r^2 \cdot k + T \cdot k \right) \cdot \sin \beta \cdot \cos \mu \quad (1.12)$$

где: a - глубина обработки почвы; b - ширина пласта (радиус диска); γ - удельный вес пласта; ε - параметр, определяющий положение точки образующей на поверхности лезвия, $\varepsilon = 90^\circ - \delta''$ (рисунок 1.19);

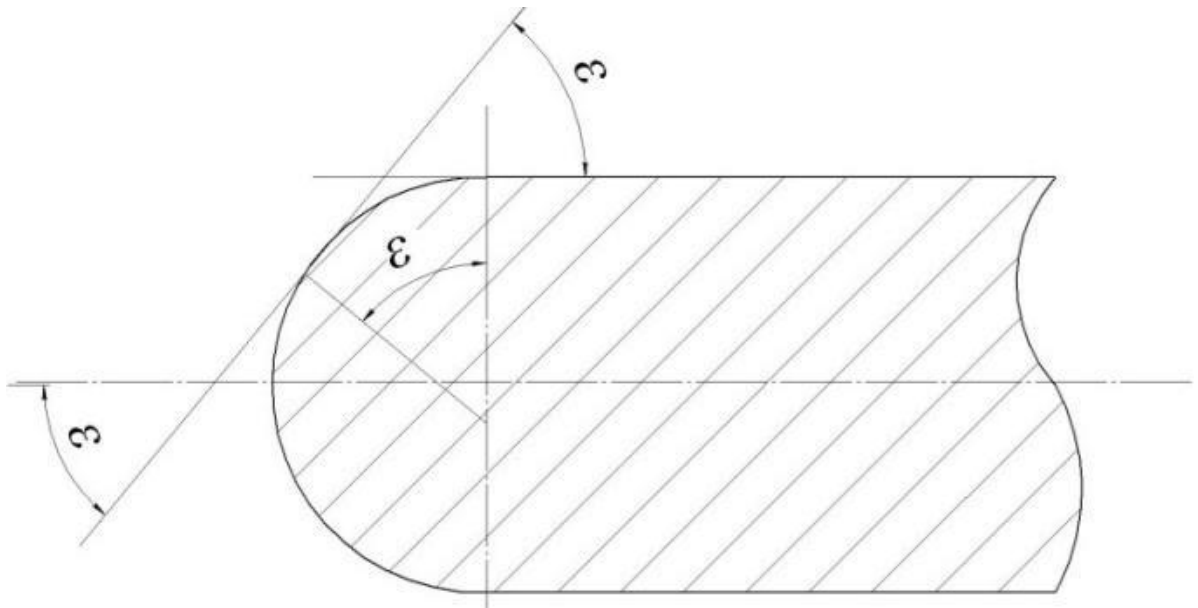


Рисунок 1.19 – Кривая сечения лезвия перпендикулярной плоскостью

τ - угол между касательной к траектории и горизонтальной прямой, проведенной через точку касания в касательной плоскости к поверхности (рисунок 1.20);

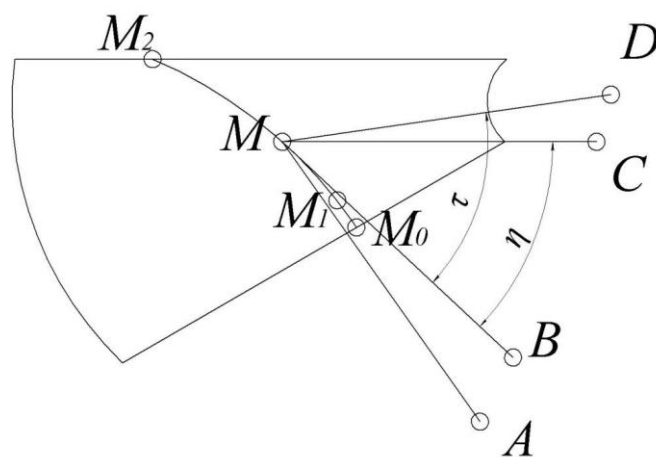


Рисунок 1.20 – Развертка поверхности лопатки с нанесенной на ней относительной траекторией

где g – ускорение силы тяжести; v_r – относительная скорость движения пласта; r – радиус сферы диска, м; T – сжимающее усилие в данном сечении пласта; k – геодезическая кривизна траектории средней точки пласта; δ – угол установки; f – коэффициент трения.

И.С. Кочетов [97] отмечает, что во время проведения полевых работ методом щелевания, по сравнению с обычной обработкой почвы глубина промерзания почвы снижается на 1-2 см., водопроницаемость почвы повышается на 0,33 мм., а урожайность основных зерновых культур увеличивается на 3,6 ц/га.

Исследуя сопротивление почвы при перемещении колёсного трактора, с навешанным фронтально сельскохозяйственным орудием, в период проведения полевых работ методом щелевания Р.Ю. Сысоева [181], опираясь на работы В.П. Горячкина [40,41] и А.Н. Зеленина [73] предложила определять фронтальное сопротивление $P_{фн}$ рабочего органа сельскохозяйственного орудия по следующей формуле

$$P_{фн} = l_n \cdot b_n \cdot \frac{\tau_{max} \cdot \cos \mu \cdot \sin(\beta_n + 2\varphi)}{\cos \varphi \cdot \cos^2\left(\frac{\beta_n + \varphi + \mu}{2}\right)} + \sigma_{сж} \cdot l_{лн} \cdot t_{лн} \quad (1.13)$$

где: τ_{max} – максимально сдвигающее напряжение, кПа; μ – угол внутреннего трения почвы, град; l_n – длина рабочей поверхности рабочего органа, м; b_n – ширина рабочей поверхности рабочего органа, м; β_n – угол крошения почвенного слоя, град; φ – угол трения почвы об сталь, град; $l_{лн}$ –

длина лезвия рабочего органа, м; $t_{\text{лн}}$ – толщина лезвия рабочего органа, м; $\sigma_{\text{сж}}$ – напряжение сжатия посвы лезвием рабочего органа, н/м².

В тоже время автор Г.Н. Синеоков [100] в своих расчетах сопротивления перемещению колёсного трактора с агрегатируемым навешанным сельскохозяйственным почвообрабатывающим орудием рекомендует использовать формулу Грандвуане-Горячкина, где с помощью зависимости параметров колес трактора и известной осевой нагрузки от величины сопротивления обрабатываемой почвы можно определить какой плотности должен быть поверхностный слой почвы перед движителем.

На основе проведенных исследований В.В. Ильичев [80] предложил, для колёсного энергетического средства с навешанным сельскохозяйственным орудием, во время проведения основной обработки почвы, определять сопротивление воздействия внешних сил на движение МТА с сельскохозяйственным агрегатом по полю в следующем виде

$$\Phi = \frac{1}{2} \sum_1^n d_k (\Delta z_k)^2 \quad (1.14)$$

Где: Φ – функция сопротивления; Δz_k – скорость деформации k -ой опоры, м/с; d_k – коэффициент сопротивления.

Снижение отрицательного воздействия на почву ходовых систем энергетических средств возможно достичь за счёт рационального перераспределения нагрузки внутри МТА.

Увеличение сцепного веса за счет его перераспределения с переднего моста трактора на задний ведущий мост нашло отражение в исследованиях проведенных А.Б. Спириданчук, Н.В. Спириданчук, С.В. Щитовым [159].

Для повышения тягово-сцепных свойств колёсного энергетического средства Е.С. Поликутина [142] предлагает использовать специально разработанную конструкцию автоматического догрузителя сцепного веса [39]. Основные силы и зависимости, действующие на данный догрузитель во время проведения основной обработки почвы, описаны в выражении

$$G_{\text{МТА сц}} = G_{\text{тр сц}} + N_2 = G_{\text{тр сц}} + F_{\text{упр}} \left(\frac{b_1 ctg \alpha - h_{\text{упр}}}{b_2} \right) \quad (1.15)$$

Где: $G_{\text{МТА сц}}$ – общий сцепной вес, приходящийся на ведущие колеса МТА при действии сил сопротивления прицепного орудия, Н; N_2 – сила давления пяты на площадку контакта, МПа; $G_{\text{тр сц}}$ – вес, приходящийся на ведущие колеса трактора при работе дополнительного догрузителя, Н; $F_{\text{упр}}$ – приведенная сила, Н; b_1 – расстояние между осями балансира и ролика, м; α – угол между касательной, проведенной в точке контакта фигурной площадки с роликом балансира и горизонталью; $h_{\text{упр}}$ – кратчайшее расстояние между осью балансира и линией действия силы; b_2 – расстояние от оси вращения балансира до линии действия силы N_2 , м.

Применение в технологии обработки почвы способа навешивания спереди колёсного движителя почвообрабатывающего орудия позволяет создавать перед энергетическим средством разрыхленный слой почвы, который снижает вертикальные нагрузки колёсного трактора на почву и уменьшает глубину переуплотнения за счет его демпфирующей способности (рисунок 1.21) [14,128]

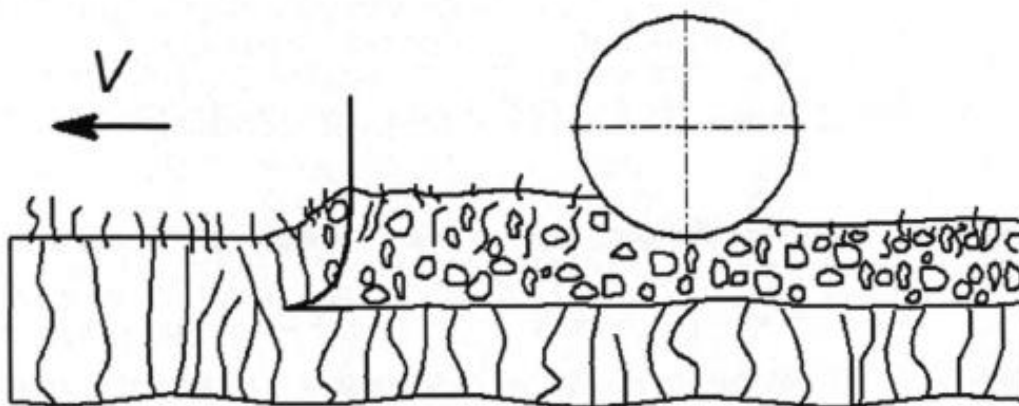


Рисунок 1.21 – Схема применения перед колёсным энергетическим средством разрыхленного слоя почвы

Однако при обработке почвы за один проход трактора по полю проявляется незначительное переуплотнение верхнего слоя, что негативно сказывается на росте растений. При этом на почвах с высокой степенью переувлажнения несущего почвенного слоя колёсные тракторы оставляют после себя глубокую колею, что затрудняет дальнейшую обработку почвы.

Глубина переуплотнения почвы в основном определяется удельным давлением поверхности движителей машинно-тракторного агрегата на почву, которое во многом зависит от площади опоры трактора, а также состояния (свойств) почвы перед движителем. Уплотнения плужной подошвы при проходе по полю тяжелого колёсного движителя класса 5 и выше может составлять до 1,5 м². [19]

В.Т. Ходыкин [188] в своих исследованиях уплотняющего воздействия двукратного прохода трактора К-700 по дерново-подзолистой почве определил существенное уменьшение водопроницаемости почвы – до 6 раз, при этом уплотнение почвы сохраняется еще длительный период времени.

Установлено, что на изменения плотности почвы огромное влияние оказывает технологический режим работы движителя, переувлажнение почвы, кратность проходов машинно-тракторных агрегатов по полю и другие климатические и физические факторы.

В ходе исследований С.И. Кабуловым [82] установлено, что при каждом прохождении колёсного энергетического средства с навешанным сельскохозяйственным агрегатом по полю увеличивается плотность плужной подошвы, снижается плодородность сельскохозяйственных культур.

Необходимо также отметить, что переуплотнение поверхностного почвенного слоя имеет непосредственную связь с фронтальным тяговым сопротивлением $R_{\text{фн}}$ рабочего органа сельскохозяйственного орудия.

Особенно высокая степень такой связи наблюдается при технологическом воздействии колёсного движителя с навешанным сельскохозяйственным агрегатом при глубокой обработке почвы во время проведения операции щелевания, поэтому важным показателем оценки воздействия движителей сельскохозяйственной техники на почву является сопротивление почве рабочего органа.

Таким образом, применение при обработке почвы энергетическими средствами класса 5 и выше оказывает негативное влияние на физические

свойства почвы, что приводит к снижению урожайности сельскохозяйственных культур и повышению энергозатрат при дальнейшей её обработке.

Учитывая сложность решаемой проблемы, а именно значительное переуплотнение почвенного горизонта при подготовке почвы с использованием колёсных энергетических средств необходимо использовать дифференцированную систему обработки почвы путем сочетания различных методов обработки по способу и глубине (рисунок 1.22).

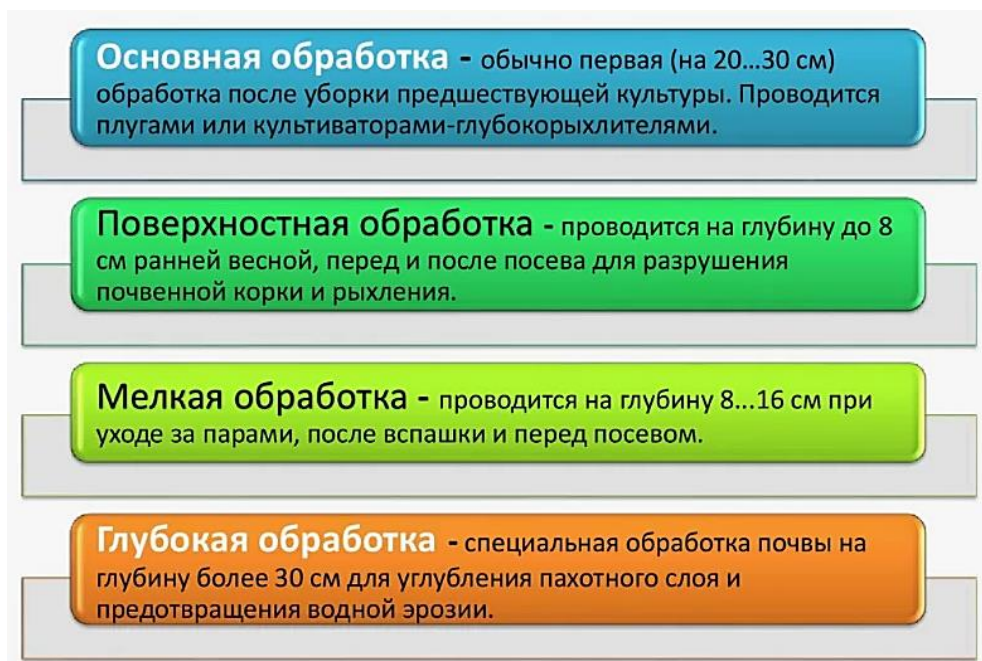


Рисунок 1.22 – Классификация обработки почвы

При ее разработке необходимо учитывать биологические особенности выращиваемых сельскохозяйственных культур, ее реакцию на глубину обрабатываемого слоя почвы, крутизну склона почвы и др. факторы.

При этом, рассматриваются условия равновесия силы выглубления рабочего органа из земли и тяговое сопротивление почвообрабатывающего орудия при глубокой обработке почвы комплексным почвообрабатывающим агрегатом навешанным на колёсное энергетическое средство

Так П.С. Короткевич [95] в своей работе пришел к выводу, что суммарная сила основного давления машинно-тракторного агрегата с навешанным рабочим почвообрабатывающим агрегатом, с учетом формы рабочего органа и крепления

его на энергетическом средстве через касательную к точкам крепления трактора будет рассчитываться по формуле:

$$P = b \cdot \int_0^s \sigma(x, y) \cdot (\sin \alpha + f \cdot \cos \alpha) \cdot ds \quad (1.16)$$

где: P - тяговое сопротивление, Н; b - ширина захвата деформатора, м; $\sigma(x, y)$ - нормальное давление, являющееся функцией координат, Па; α - угол наклона рабочего органа сельскохозяйственного орудия, град.; f - коэффициент трения.

В отрасли агропромышленной техники известно высокое количество конструкций и рабочих схем, предназначенных для проведения работ по щелеванию полей [90,108,180].

Одним из них является следозаделыватель трактора (Патент РФ № 2142681 МКИ А01В 37/00), содержащий поперечный брус, установленный на тягах навески трактора, боковые секции с рыхлителями и ножами (рисунок 1.23).

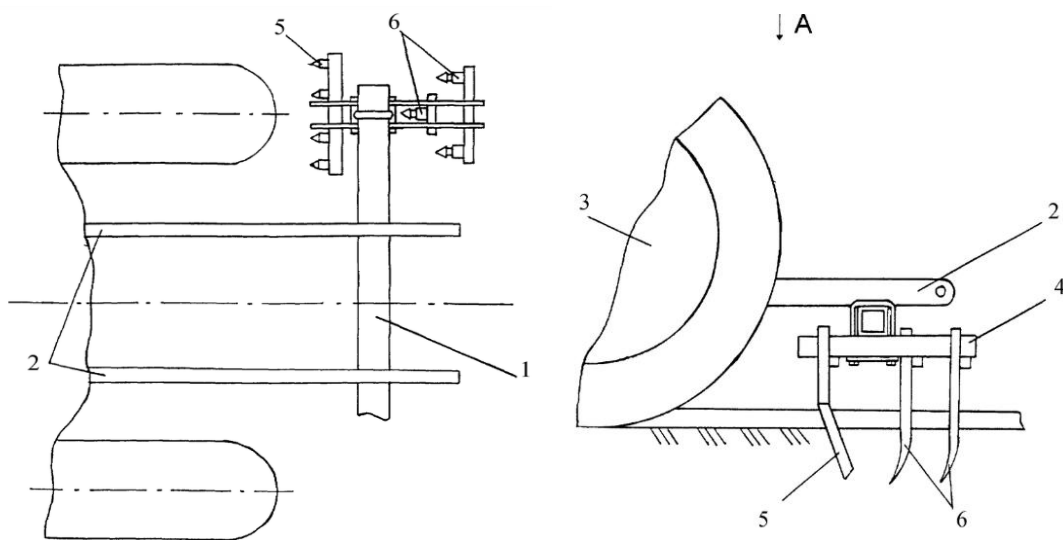


Рисунок 1.23 - Следозаделыватель трактора, где: 1 - поперечный брус;

2 - продольные тяги; 3 – трактор; 4 - боковые секции; 5 – ножи;

6 – рыхлители.

Работа следозаделывателя трактора осуществляется следующим образом:

В процессе выполнения технологических работ по обработке почвы, ножи данной конструкции, при движении трактора по полю, заглубляются в почву на 15-20 см и прорезают уплотненную по следу колёсного движителя почву. Следуя

за ножами рыхлители в два ряда осуществляют рыхление уплотненной почвы на глубину до 20-25 см, не давая разрезанному слою почвы слипаться между собой и образовывать единую глыбу.

Недостатком данного устройства является необходимость установки устройства непосредственно на тягах навески, что снижает функциональные возможности энергетического средства по агрегатированию, быстрый износ и недолговечность рабочих органов рыхлителей и ножей.

Также известен дискаторный разуплотнитель следа колёсного трактора, содержащий косыночные упоры, силовой шарнир, продольные реактивные штанги, торсионную ось, разуплотняющие рабочие органы, прижимные силовые гидроцилиндры (Патент РФ № 171123 МКИ А01В 37/00 [131]) (рисунок 1.24).

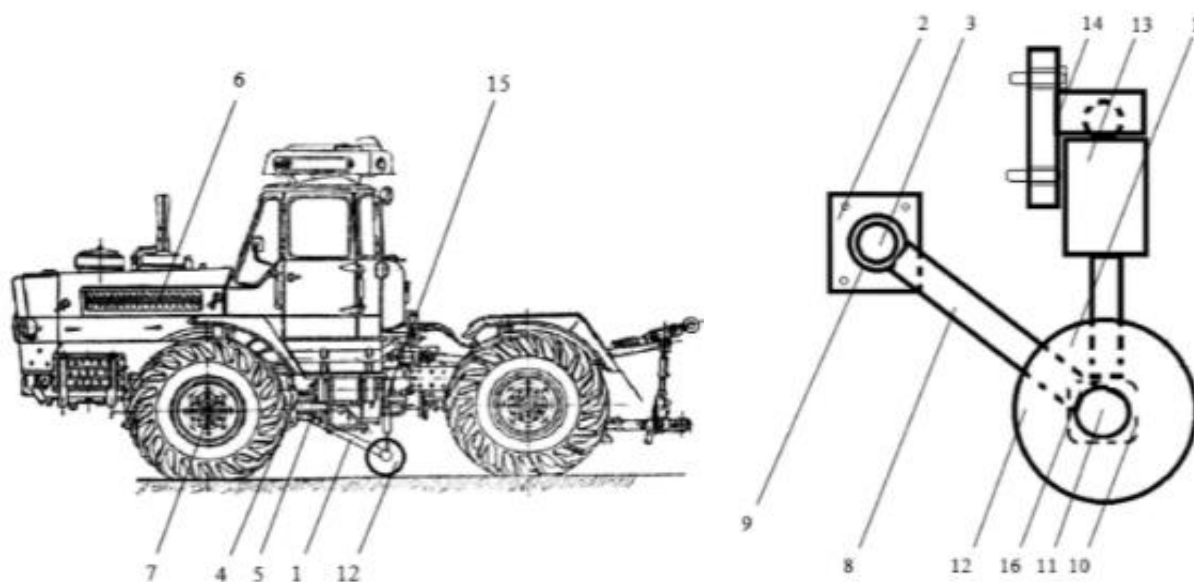


Рисунок 1.24 - Дискаторный разуплотнитель следа колёсного трактора:

- 1 – устройство для разуплотнения следа трактора; 2 - косыночные упоры;
 3 - силовые шарниры; 4 - передняя боковая часть трактора; 5 - передняя полурама трактора; 6 – колёсный трактор; 7 – передние ведущие колеса трактора;
 8 - продольные реактивные штанги; 9 – крепление 1;
 10 – крепление 2; 11 - торсионная ось; 12 - разуплотняющие рабочие органы;
 13 - прижимные силовые гидроцилиндры; 14 - кронштейны; 15 - тыловая часть корпуса трактора; 16 - опорные вилки.

Данное устройство выполняет работу по разуплотнению почвы за ведущими колесами трактора по следующей схеме:

Водитель колёсного трактора, после заезда на обрабатываемый участок поля, с помощью прижимных силовых гидроцилиндров опускает торсионную ось дискаторного разуплотнителя в рабочее положение, заглубляя при этом его рабочие органы на глубину до 20-25 см. В результате происходит рыхление почвенного слоя за следом трактора, крошение и перемешивание грунта, что значительно снижает влияние ходовой системы колёсного движителя на обрабатываемую поверхность почвы, уменьшая при этом переуплотнение почвы и формирующуюся плужную подошву.

Недостатком данного устройства является высокое удельное сопротивление дискаторных рабочих органов, необходимость применения значительного прижимного усилия, относительно большая материалоемкость и энергоёмкость устройства, невозможность применения в качестве щелевателя.

Базируясь на глубоком анализе исследований авторов [16,89,90,141], в целях максимального снижения воздействия колёсного трактора и необходимости уменьшения переуплотнения почвы в сельском хозяйстве Амурской области предлагается включить в состав комбинированного почвообрабатывающего агрегата фронтальный прокалыватель-щелерез, что существенно позволило бы разуплотнить плодородный слой почвы, восстановить его влаговоздушный баланс и создать оптимально-благоприятные условия для развития сельскохозяйственных культур в момент обработки почвы, при этом почвообрабатывающее орудие используемое для процесса щелевания адаптируется к возможностям конструкции трактора К-700 (К-744, К-7), в частности используя перенос сцепного веса трактора [57,89,90,174] для догрузки заднего моста трактора, снижения его энергоёмкости при соблюдении параметров эффективности в ходе проведения данной операции (рисунки 1.25).

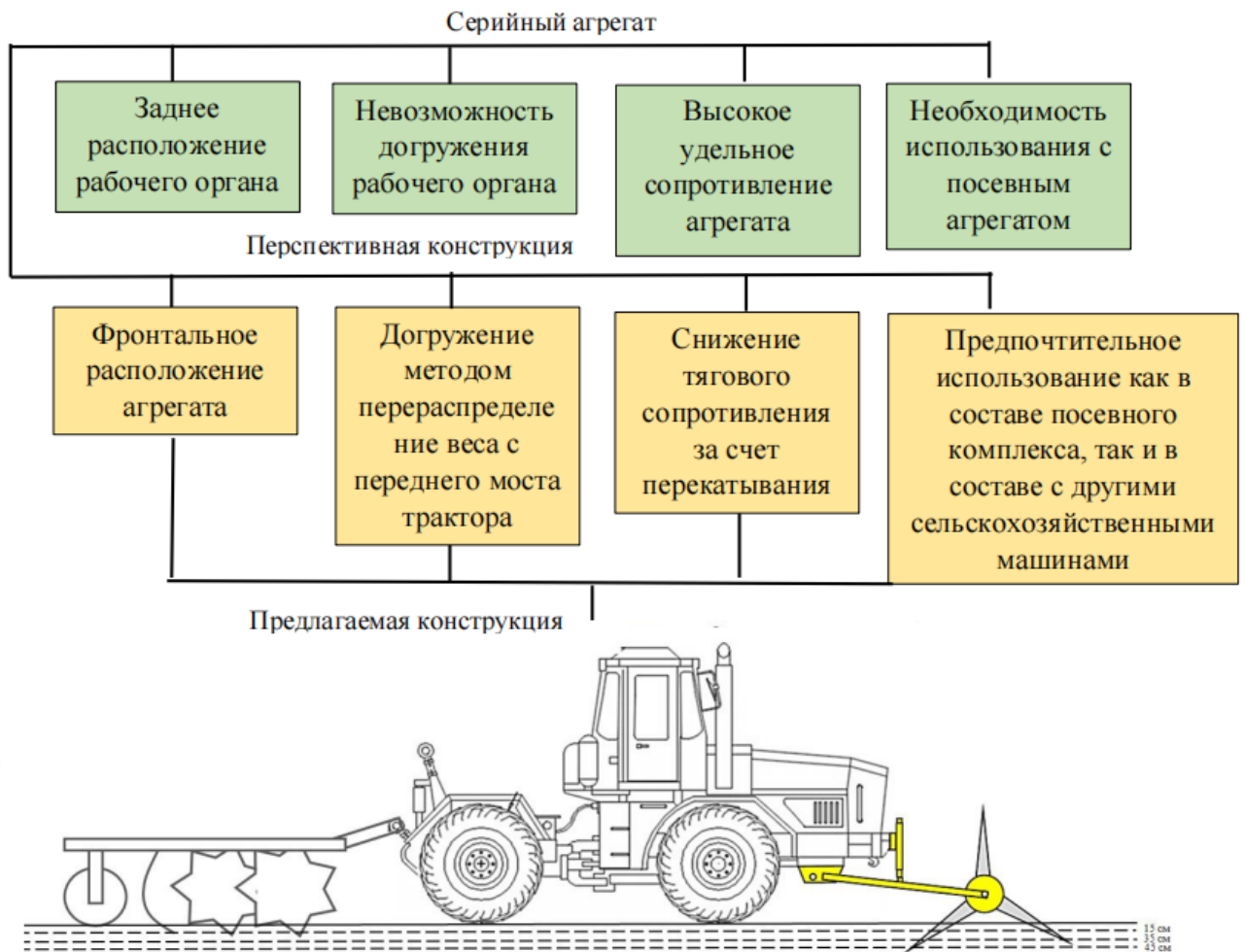


Рисунок 1.25 - Краткая характеристика серийного и перспективного
разуплотняющих агрегатов [130,134]

Таким образом, воздействие на обрабатываемые почвы ходовой системой колёсного трактора, при использовании предлагаемого метода щелевания, будет снижено, что создаст условия для сохранения плодородия и роста урожайности сельскохозяйственных культур, при удержании при этом необходимого количества влаги в нижних почвенных слоях и проведения аэрации в верхних горизонтах почвы.

1.4 Выводы

Проведенный обзор теоретических исследований по вопросам, связанным с использованием энергетических средств на базе колёсных тракторов класса 5-8 в

процессе подготовки почвы к посевным работам дает возможность сделать следующие выводы:

1. Проведенные исследования показали, что в последнее время в Амурской области происходит постепенное расширение посевных площадей. Наряду с этим в хозяйствах наблюдается постепенное старение используемой техники, а её обновление происходит гораздо медленнее, чем требуется. Что в конечном итоге увеличивает общую нагрузку на один трактор, стоимость регламентных работ, повышает себестоимость продукции. Таким образом, с целью полной реализации возможностей имеющейся в сельскохозяйственных организациях области техники необходим поиск способов повышения эффективности колёсных энергетических средств, что возможно за счет использования колёсных тракторов класса 5-8 в составе комбинированных многооперационных МТА.

2. Установлено, что двигатели колёсных энергетических средств оказывают значительное техногенное воздействие на почву, что негативно отражается на росте и развитии растений. При этом для снижения негативного воздействия на почву имеющихся МТА необходимо внедрять новые технические решения с целью совмещения ряда операций, что в конечном итоге снизит число прохода трактора по полю.

3. Повышение эффективности использования колёсных энергетических средств возможно за счет применения новых технических решений, предназначенных для проведения нескольких полевых операций за один проход трактора, и способных корректировать как технологические свойства трактора, так и его вертикальную нагрузку в пятне контакта двигателей с почвой.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

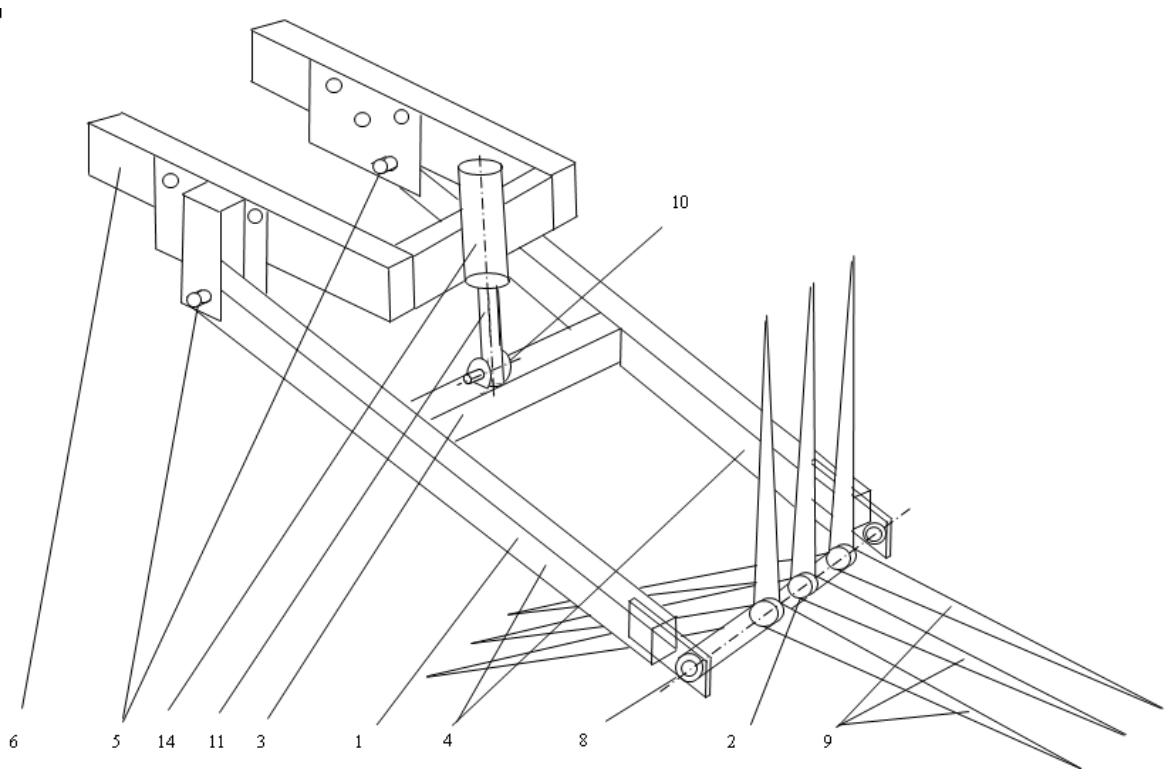
2.1 Влияние прокальвателя-щелереза на распределение нормальных реакций почвы и нагрузки на движитель колёсного трактора

Использование колёсных энергетических средств с высоким нормальным давлением на почву, в условиях переувлажнения обрабатываемого почвенного слоя или наличия мерзлотного подстилающего слоя значительно затруднено. Это объясняется тем, что передние колеса, из-за большого веса передней полурамы и установленных на ней агрегатов, негативно воздействуют на физико-механические характеристики почвы и качество проведения полевых работ [7,15,175,177].

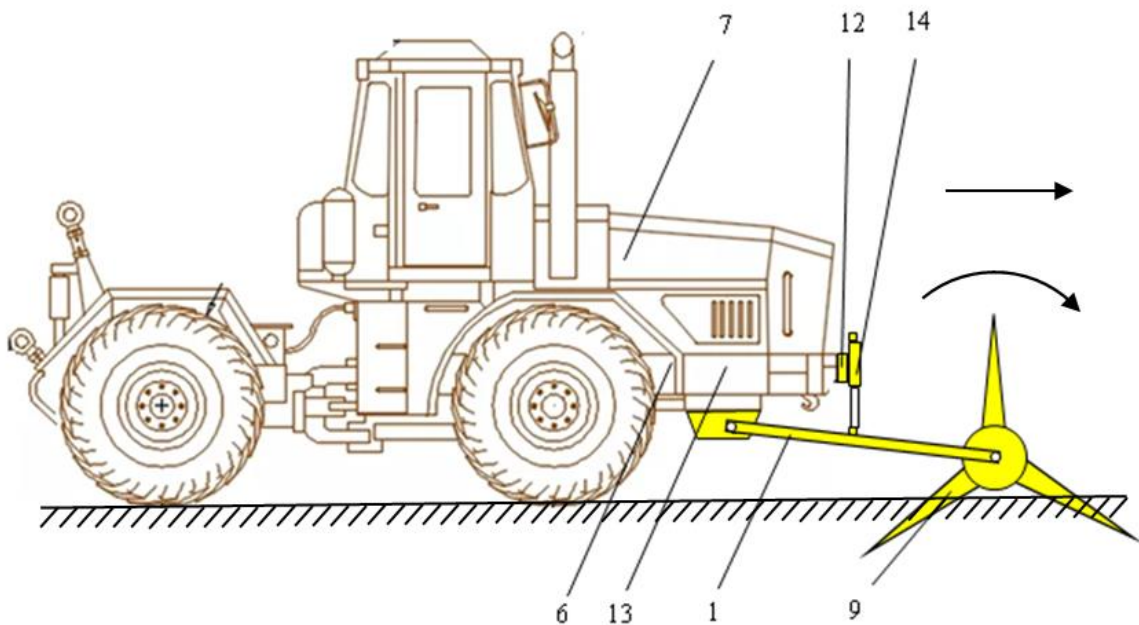
В тоже время задние ведущие колёса трактора в звене «двигатель-почва» по воздействию сил трения находятся в менее выгодных условиях, что снижает их сцепные характеристики, при этом движители не могут реализовать в полном объёме заложенные производителем эксплуатационные характеристики.

Решить возникшую отраслевую задачу, актуальную и важную для региона, возможно за счет перераспределения сцепного веса в ходовой системе колёсного трактора, что также позволит улучшить проникновение избыточной влаги в подпочвенные слои.

Для решения этих целей, на основании ранее проведенных исследований [104,173,177,201], предлагается установить на передней раме и силовом бампере трактора оригинальное устройство - фронтальный прокальватель-щелерез (рисунок 2.1), который будет выполнять роль устройства для перераспределения веса с одновременным улучшением водопроницаемости почвы по глубине при её избыточности за счёт прокальвания верхнего почвенного слоя. Принцип работы предлагаемого устройства и его конструктивные особенности рассмотрены в работе авторов [130,134,172,175].



а) - Принципиальная схема предлагаемого устройства



б) - Установочная схема предлагаемого устройства

Рисунок 2.1 - фронтальный прокальватель-щелерез, где:
 1 - пространственная рама, 2 - передняя фронтальная поперечная трубчатая тяга,
 3 - нагружающе-поддерживающая поперечная тяга, 4 - продольные трубчатые
 тяги, 5 - косоночные упоры, 6 - передняя боковая часть передней полурамы
 трактора, 7 - колёсный трактор (К-700А), 8 - подшипниковые узлы,

9 - лучеобразные прокалывающие рабочие органы, 10 – проушина, 11 - рабочий шток нагружающего гидроцилиндра, 12 - опорный кронштейн, 13 - передний силовой бампер трактора., 14 – нагружающий гидроцилиндр.

В целях математического обоснования характеристик предлагаемого устройства и выявления параметров действующих величин рассмотрим процесс перераспределения веса между колёсами трактора для трёх прогнозируемых положений:

- а). В серийном варианте без установки фронтального прокалывателя-щелереза;
- б). С установленным фронтальным прокалывателем-щелерезом в статичном состоянии;
- в). С установленным фронтальным прокалывателем-щелерезом в рабочем положении.

Рассмотрим распределение вертикальных составляющих реакций поверхности почвы на колёсный трактор в серийном варианте без установки фронтального прокалывателя-щелереза (рисунок 2.2).

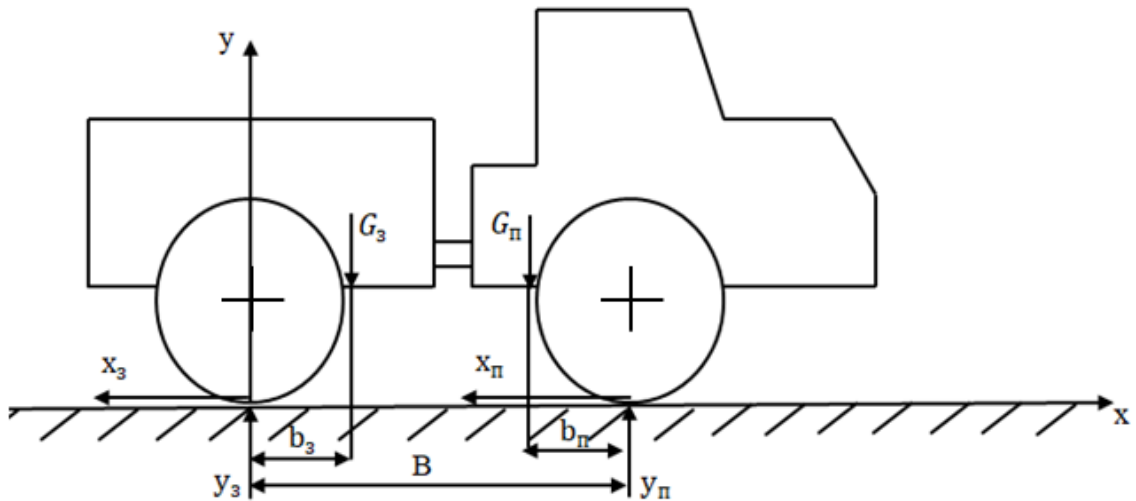


Рисунок 2.2 - Схема к определению реакций поверхности почвы на мосты колёсного трактора, где $y_з, y_п$ - вертикальные реакции почвы на задний и передний мосты колёсного трактора соответственно, N ; $x_з, x_п$ - горизонтальные реакции почвы на задний и передний мосты колёсного трактора соответственно, N ; $G_з, G_п$ - вес задней и передней полурамы трактора соответственно, N ; B -

продольная база колёсного трактора, м; b_3 – расстояние от заднего моста до вертикальной проекции точки расположения центра тяжести задней полурамы трактора, м; b_{Π} – расстояние от переднего моста до вертикальной проекции точки расположения центра тяжести задней полурамы трактора, м.

Для определения искомых величин используем методику составления уравнений равновесия для произвольной плоской системы сил для положения А согласно схеме на рисунке 2.2

$$\sum F_{ky} = 0 \quad y_3 - G_3 - G_{\Pi} - y_{\Pi} = 0. \quad (2.1)$$

$$\sum M_1(F_K) = 0 \quad G_3 b_3 + G_{\Pi}(B - b_{\Pi}) - y_{\Pi} B = 0. \quad (2.2)$$

$$\sum M_2(F_K) = 0 \quad y_3 B - G_{\Pi} b_{\Pi} - G_3(B - b_3) = 0. \quad (2.3)$$

Из выражения (2.2) находим выражение для определения вертикальной составляющей силовой реакции поверхности на передний мост трактора

$$y_{\Pi} = \frac{G_3 b_3 + G_{\Pi}(B - b_{\Pi})}{B}. \quad (2.4)$$

Из выражения (2.3) получаем вертикальную составляющую силовой реакции поверхности на задний мост трактора

$$y_3 = \frac{G_{\Pi} b_{\Pi} + G_3(B - b_3)}{B}. \quad (2.5)$$

В целях всестороннего рассмотрения действующих сил рассмотрим распределение вертикальных составляющих реакций поверхности почвы на колёсный трактор с установленным фронтальным прокалывателем-щелерезом в статичном состоянии (положение Б) используя схемы, предложенные на рисунке 2.3 и 2.4, для чего рассмотрим составную конструкцию из элементов: «трактор + прокалыватель-щелерез».

Используя схему на рисунке 2.4 составляем уравнения равновесия для вспомогательного устройства, элемента составной конструкции - прокалывателя-щелереза [130,132]

$$\sum F_{Kx} = 0 \quad x_c - P_P \cos \varphi = 0. \quad (2.6)$$

$$\sum F_{Ky} = 0 \quad -y_c + P_P \sin \varphi - G_{\Pi} - G_{\Pi\Pi} = 0. \quad (2.7)$$

$$\sum M_c(F_K) = 0 \quad -P_P \sin \varphi l + G_{\Pi} a + G_{\Pi\Pi} L = 0. \quad (2.8)$$

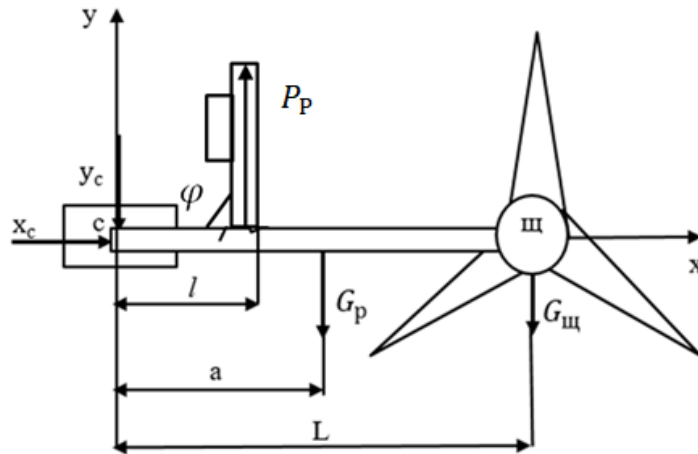


Рисунок 2.3 - Схема к определению реакций поверхности почвы на колёсный трактор с установленным фронтальным прокальвателем-щелерезом в статичном состоянии (элемент- прокальватель-щелерез), где P_p – усилие в нагружающем гидроцилиндре для удержания устройства в транспортном положении, кг/см²; c – точка крепления вспомогательного устройства к трактору; x_c и y_c – силовые реакции в точке c , Н; h - расстояние от точки c до поверхности движения, м; φ – угол между рамой прокальвателя-щелереза и продольной осью нагружающего гидроцилиндра, град.

Из выражения (2.8) определяем необходимое усилие в нагружающем цилиндре для удержания вспомогательного устройства в транспортном положении

$$P_p = \frac{G_{пa} + G_{шL}}{\sin \varphi l}. \quad (2.9)$$

Из выражений (2.6) и (2.7) определяем силовые реакции в точке c

Для $y_c = -G_{п} - G_{ш} + P_p \sin \alpha = -G_{п} - G_{ш} + \frac{(G_{пa} + G_{шL}) \sin \varphi}{\sin \varphi l}$. или

$$y_c = \frac{-G_{пl} - G_{шl} + G_{пa} + G_{шL}}{l}. \text{ или } y_c = \frac{G_{п(a-l)} + G_{ш(L-l)}}{l}. \quad (2.10)$$

$$\text{Для } x_c = P_p \cos \varphi = \frac{G_{пa} + G_{шL}}{\sin \varphi l} \cos \varphi. \text{ или } x_c = \frac{G_{пa} + G_{шL}}{l} \operatorname{ctg} \varphi. \quad (2.11)$$

Так как $L > l$ и $a > l$, то направление y_c определено верно.

Рассмотрим распределение вертикальных составляющих реакций поверхности почвы на колёсный трактор с установленным фронтальным прокальвателем-щелерезом в статичном состоянии (рисунок 2.4).

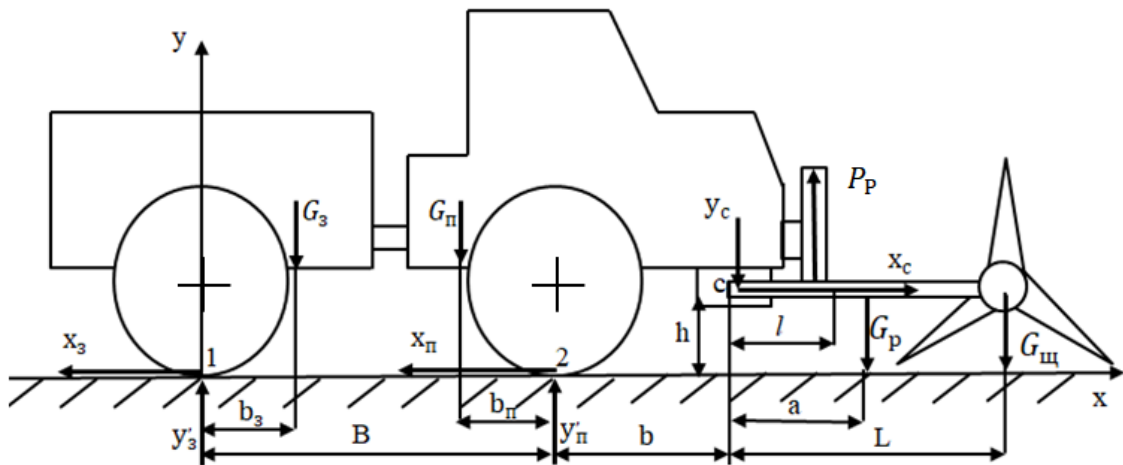


Рисунок 2.4 - Схема к определению реакций поверхности почвы на колёсный трактор с установленным фронтальным прокальвателем- щелерезом в статичном состоянии (элемент-трактор), где y'_n, y'_3 - вертикальные реакции почвы на задний и передний мосты колёсного трактора соответственно, Н; $G_{щ}$ – вес лучеобразных прокальвающих рабочих органов, Н; G_p – вес пространственной рамы, Н; l – расстояние от точки с до точки крепления нагружающего гидроцилиндра, м; a – расстояние от точки с до центра тяжести прокальвателя- щелереза, м; L – расстояние от точки с до вертикальной проекции центра тяжести рабочего органа прокальвателя- щелереза, м; b – расстояние от точки с до переднего моста трактора, м; h - расстояние от точки с до поверхности почвы, м.

$$\sum M_1(F_k) = 0 \quad G_3 b_3 + G_n (B - b_n) - y'_n B + y_c (B + b) + x_c h = 0. \quad (2.12)$$

$$\sum M_2(F_k) = 0 \quad y'_n B - G_n b_n - G_3 (B - b_3) + y_c b + x_c h = 0. \quad (2.13)$$

Из уравнения (2.12) определяем вертикальную составляющую силовой реакции поверхности почвы на передний мост трактора

$$y'_n = \frac{G_3 b_3 + G_n (B - b_n) + y_c (B + b) + x_c h}{B}.$$

Или с учетом выражений (2.10) и (2.11)

$$y'_n = \frac{G_3 b_3 + G_n (B - b_n)}{B} + \frac{G_n (a - l) + G_{щ} (L - l)}{l} \frac{B + b}{B} + \frac{G_n a + G_{щ} L}{l} \frac{h}{B} ct g \varphi \quad (2.14)$$

Из выражения (2.13) определяем вертикальную составляющую реакции поверхности почвы на задний мост трактора

$$y'_3 = \frac{G_{\Pi} b_{\Pi} + G_3(B - b_3) - y_c b - x_c h}{B}.$$

Или с учетом выражений (2.10) и (2.11)

$$y'_3 = \frac{G_{\Pi} b_{\Pi} + G_3(B - b_3)}{B} - \frac{G_{\Pi}(a-l) + G_{\text{щ}}(L-l)}{l} \frac{b}{B} + \frac{G_{\Pi} a + G_{\text{щ}} L}{l} \frac{h}{B} ct g \varphi \quad (2.15)$$

Анализируя выражения (2.4) и (2.14) и выражения (2.5) и (2.15) можно сделать следующий вывод:

При навешивании вспомогательного устройства в статическом состоянии передний мост трактора будет загружен на величину

$$\frac{G_{\Pi}(a-l) + G_{\text{щ}}(L-l)}{l} \frac{B+b}{B} + \frac{G_{\Pi} a + G_{\text{щ}} L}{l} \frac{h}{B} ct g \varphi.$$

При этом задний мост трактора разгружается на величину

$$\frac{G_{\Pi}(a-l) + G_{\text{щ}}(L-l)}{l} \frac{b}{B} + \frac{G_{\Pi} a + G_{\text{щ}} L}{l} \frac{h}{B} ct g \varphi.$$

Определим вертикальные составляющие силовой реакции поверхности почвы на колёсный трактор с установленным фронтальным прокальвателем-щелерезом в рабочем состоянии используя схемы на рисунке 2.5 и 2.6. Для этого рассмотрим составную конструкцию в виде отдельных элементов: «трактор + прокальватель-щелерез».

Исходя из схемы силовых реакций и действующих сил, показанных на рисунке 2.6 составим уравнения равновесия для перспективной конструкции устройства прокальватель-щелерез

$$\sum F_{kx} = 0 \quad -x'_c P_p \cos(\beta + \varphi) + R_{\text{гор}} = 0. \quad (2.16)$$

$$\sum F_{ky} = 0 \quad y'_c - P_p \sin(\beta + \varphi) - G_p - G_{\text{щ}} + R_{\text{вер}} = 0. \quad (2.17)$$

$$\begin{aligned} \sum M_c(F_k) = 0 \quad & P_p \sin(\beta + \varphi) l \cos\beta + G_p a \cos\beta + G_{\text{щ}} L \cos\beta - \\ & - R_{\text{гор}}(h + L \sin\beta) - R_{\text{вер}} L \cos\beta = 0. \end{aligned} \quad (2.18)$$

вертикальное силовое сопротивление почвы прокалыванию, действующее на лучеобразный прокалывающий рабочий орган, H ; углы φ и β определяются конструктивно, зависят от заглубления рабочих органов вспомогательного устройства, град.

Из выражения (2.18) найдем силу, действующую в нагружающем гидроцилиндре на прокалыватель-щелерез в рабочем положении (рисунок 2.7)

$$P_p = \frac{R_{гор}(h_r + L \sin \beta) + R_{вер} L \cos \beta - G_p a \cos \beta - G_{щ} L \cos \beta}{\sin(\beta + \varphi) l \cos \beta}. \quad (2.19)$$

Основное усилие, создаваемое в гидроцилиндре рассчитаем по формуле

$$P_p = P_{гд} S. \quad (2.20)$$

Где: $P_{гд}$ – давление, развиваемое насосом гидросистемы трактора, Н; S – площадь поперечного сечения нагружающего гидроцилиндра, m^2 .

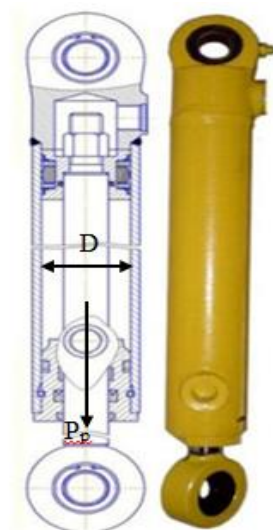


Рисунок 2.7 - Сила, действующая в нагружающем гидроцилиндре на прокалыватель-щелерез

Площадь поперечного сечения гидроцилиндра найдем из выражения

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \quad (2.21)$$

Где: D – диаметр поршня нагружающего гидроцилиндра, м., $\pi = 3,14$.

Из выражений (2.16) и (2.17) определим реакции действующие в точке С

$$y'_c = P_p \sin(\beta + \varphi) + G_p + G_{щ} - R_{вер},$$

Или с учетом выражения (2.18)

$$y'_c = \frac{R_{\text{гор}}(h_r + L \sin \beta) + R_{\text{вер}} L \cos \beta - G_p \cos \beta - G_{\text{ш}} L \cos \beta}{l \cos \beta} + G_p + G_{\text{ш}} - R_{\text{вер}}. \quad (2.22)$$

Тогда $x'_c = P_p \cos(\beta + \varphi) + R_{\text{гор}}$, а с учетом выражения 2.18

$$x'_c = \frac{R_{\text{гор}}(h_r + L \sin \beta) + R_{\text{вер}} L \cos \beta - G_p \cos \beta - G_{\text{ш}} L \cos \beta}{l \cos \beta} \operatorname{ctg}(\beta + \varphi) + R_{\text{гор}}. \quad (2.23)$$

Исходя из схемы силовых реакций и действующих сил на рисунке 2.5 найдем уравнение равновесия для колёсного энергетического средства

$$\sum M_1(F_k) = 0 \quad G_3 b_3 + G_{\text{п}}(B - b_{\text{п}}) - y''_{\text{п}} B - x'_c h - y'_c(B + b) = 0 \quad (2.24)$$

$$\sum M_2(F_k) = 0 \quad y''_3 B - G_{\text{п}} b_{\text{п}} - G_3(B - b_3) - x'_c h - y'_c b = 0 \quad (2.25)$$

Из выражения (2.24) определяем вертикальную составляющую реакции почвы на передний мост колёсного энергетического средства

$$y''_{\text{п}} = \frac{G_3 b_3 + G_{\text{п}}(B - b_{\text{п}}) - x'_c h - y'_c(B + b)}{B} = \frac{G_3 b_3 + G_{\text{п}}(B - b_{\text{п}})}{B} - \frac{x'_c h + y'_c(B + b)}{B}.$$

Или с учетом $\vec{x}_c = -\vec{x}'_c$, $\vec{y}_c = -\vec{y}'_c$ и уравнений (2.22) и (2.23)

$$y''_{\text{п}} = \frac{G_3 b_3 + G_{\text{п}}(B - b_{\text{п}})}{B} - \left[\frac{R_{\text{гор}}(h_r + L \sin \beta) + R_{\text{вер}} L \cos \beta - G_p \cos \beta - G_{\text{ш}} L \cos \beta}{l \cos \beta} \operatorname{ctg}(\beta + \varphi) + R_{\text{гор}} h + \frac{R_{\text{гор}}(h_r + L \sin \beta) + R_{\text{вер}} L \cos \beta - G_p \cos \beta - G_{\text{ш}} L \cos \beta}{l \cos \beta} \cdot \frac{(B + b)}{B} + (G_{\text{п}} + G_{\text{ш}} - R_{\text{вер}}) \cdot \frac{(B + b)}{B} \right],$$

или

$$y''_{\text{п}} = \frac{G_3 b_3 + G_{\text{п}}(B - b_{\text{п}})}{B} - \left[\frac{R_{\text{гор}}(h_r + L \sin \beta) + R_{\text{вер}} L \cos \beta - G_p \cos \beta - G_{\text{ш}} L \cos \beta}{l \cos \beta B} \cdot (\operatorname{ctg}(\beta + \varphi) h + B + b) + R_{\text{гор}} \frac{h}{B} + (G_{\text{п}} + G_{\text{ш}} - R_{\text{вер}}) \cdot \frac{(B + b)}{B} \right] \quad (2.26)$$

Из выражения (2.25) определяем вертикальную составляющую реакции почвы на задний мост колёсного энергетического средства

$$y''_3 = \frac{G_{\text{п}} b_{\text{п}} + G_3(B - b_3)}{B} + \frac{x'_c h + y'_c b}{B},$$

Или с учетом выражений 2.22 и 2.23 получим выражения для мостов трактора

$$y''_3 = \frac{G_{\text{п}} b_{\text{п}} + G_3(B - b_3)}{B} + \frac{R_{\text{гор}}(h_r + L \sin \beta) + R_{\text{вер}} L \cos \beta - G_p \cos \beta - G_{\text{ш}} L \cos \beta}{l \cos \beta B} \operatorname{ctg}(\beta + \varphi) h + R_{\text{гор}} \frac{h}{B} + \frac{R_{\text{гор}}(h_r + L \sin \beta) + R_{\text{вер}} L \cos \beta - G_p \cos \beta - G_{\text{ш}} L \cos \beta}{l \cos \beta} \cdot \frac{b}{B} + (G_{\text{п}} + G_{\text{ш}} - R_{\text{вер}}) \cdot \frac{b}{B},$$

или

$$y_3'' = \frac{G_{\Pi} b_{\Pi} + G_3(B - b_3)}{B} + \left[\frac{R_{\text{гор}}(h_{\Gamma} + L \sin \beta) + R_{\text{вер}} L \cos \beta - G_{\text{п}} a \cos \beta - G_{\text{щ}} L \cos \beta}{l \cos \beta B} \cdot (\text{ctg}(\beta + \varphi) h + b) + R_{\text{гор}} \frac{h}{B} + (G_{\Pi} + G_{\text{щ}} - R_{\text{вер}}) \cdot \frac{b}{B} \right] \quad (2.27)$$

Исходя из найденных выражений (2.18), (2.26) и (2.27) можно сделать следующий вывод, что глубина прокалывания почвенного слоя при использовании колёсного энергетического средства с фронтальным прокалывателем-щелерезом будет зависеть от силы, действующей через нагружающий гидроцилиндр на раму перспективной конструкции и набегающего воздействия трактора при выполнении работ. При этом вертикальная нагрузка, передаваемая на задний мост колёсного энергетического средства, полученная при перераспределении сцепного веса между мостами, качественно увеличит тягово-сцепные характеристики колёсного трактора, повысит его проходимость и снизит техногенное воздействие ходовой системы на обрабатываемый плодородный слой [5,20,27,78,201].

2.2 Обоснование воздействия динамических параметров фронтального прокалывателя-щелереза на конструкцию трактора в движении

В целях теоретического обоснования параметров воздействия фронтального прокалывателя-щелереза на конструкцию трактора и поверхность движения, выявления его технологических и ходовых характеристик необходимо провести расчет реакций трактора с прокалывателем [130,133,135].

Для чего используем известные методы теории равновесия и определяемые зависимости согласно схемам, изображенных на рисунках 2.8 и 2.9.

Рассматриваемая конструкция состоит из основной части, собственно колёсного трактора, включающей переднюю пару колес, из прокалывателя-щелереза D с соединительной рамой CD , и из опорной части, включающей заднюю пару колес.

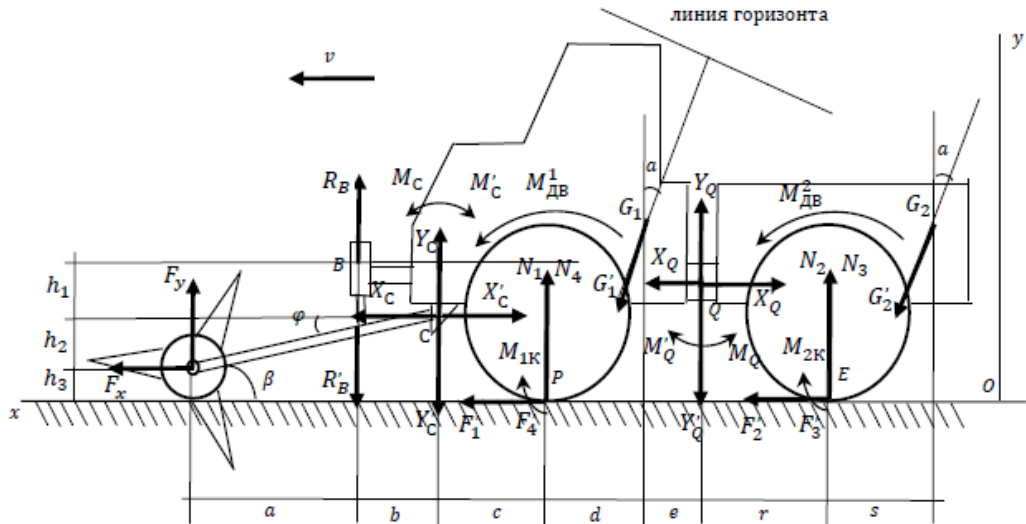


Рисунок 2.8 - Схема сил, действующих на колёсный трактор и прокальватель-щелерез в продольной плоскости Oxy

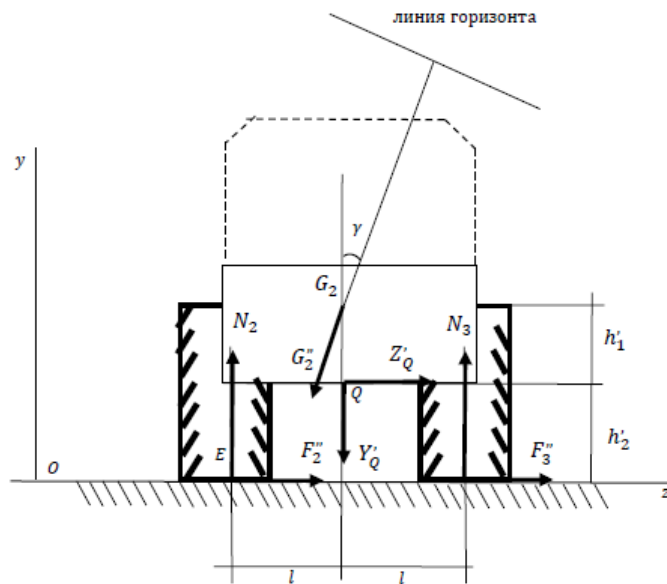


Рисунок 2.9 - Схема сил, действующих на колёсный трактор и прокальватель-щелерез в продольной плоскости Oyz

Прокальватель-щелерез соединяется с рамой шарниром D (опора типа цилиндрический шарнир), рама прокальвателя-щелереза соединяется с основной частью шарниром A (опора типа цилиндрический шарнир) и вертикальной пневматической подвеской B (опора типа тонкий стержень). Основная часть соединяется с опорной частью устройством Q , допускающим их взаимный

разворот вокруг вертикальной оси, а также относительное изменение бокового крена каждой части вокруг продольной горизонтальной оси.

Все расчеты провожу для прямого рабочего хода трактора в направлении ν .

Для большей ясности изображения угол α прямого подъема в направлении ν и угол γ бокового крена учитываю изменением наклона линии горизонта, углы считаю одинаковыми для обеих частей трактора (рисунки 2.8 и 2.9); G_1, G_2 - центры тяжести отдельных частей (полурам) трактора, точки приложения сил тяжести G_1, G_2 при любых углах наклона α и γ (при спуске вниз с горы $\alpha > 0$, при подъеме вверх в гору $\alpha < 0$; при перемещении по поверхности с уклоном влево $\gamma > 0$, с уклоном вправо - $\gamma < 0$);

G'_j ($j=1, 2$) - проекции сил тяжести на продольную плоскость, Н; G''_j - проекции сил тяжести на поперечную плоскость, Н. Принимаем

$$G'_j = \frac{G_j / \cos \alpha}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha + \operatorname{tg}^2 \gamma}}; \quad G''_j = \frac{G_j / \cos \gamma}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha + \operatorname{tg}^2 \gamma}} \quad (j=1, 2).$$

Где: C, B - опоры рамы прокальвателя-щелереза: опора C - шарнирно неподвижная, реакция включает две неизвестные составляющие X_C^I, Y_C^I ($X_C = X_C^I, Y_C = Y_C^I$); опора B - стержневая, реакция определяется одной неизвестной составляющей R'_B ($R_B = R'_B$). Считаю, что на раму действуют силовые реакции X_C^I, Y_C^I, R'_B , на основную часть трактора - реакции X_C, Y_C, R_B .

На раму также действуют задаваемые силы: M_C^I - силовой момент торсионного вала, Нм; F_x, F_y, F_z - составляющие силового действия прокальвателя-щелереза в точке D , Н; в рабочем режиме $F_x < 0, F_y > 0$; составляющая F_z проявляется при боковом поперечном сносе трактора на склоне $\gamma \neq 0$, приводит к появлению дополнительной пары сил, действующей на торсионный вал (далее не рассматриваем, $F_z = 0$).

R - радиус колес трактора, м; $a, b, c, d, e, r, s, h_1, h_2, h_3, h'_1, h'_2, l$ - размеры трактора (рисунок 2.8), м; φ - угол наклона рамы прокальвателя-щелереза к обрабатываемой плоскости, град.

N_1, N_2, N_3, N_4 - нормальные силовые реакции поверхности движения, действующие на колеса трактора; считаем движение безотрывным, поэтому вертикальные составляющие нормальных реакций должны быть направлены вверх, Н, при $N_i \geq 0$ ($i = \overline{1, 4}$).

F'_1, F'_2, F'_3, F'_4 - силы сцепления колес трактора, движущие силы ведущих колес, направлены в сторону движения трактора, Н;

$F''_1, F''_2, F''_3, F''_4$ - силы поперечного (бокового) трения скольжения, направлены в сторону, противоположную предполагаемому относительному проскальзыванию соприкасающихся поверхностей, Н.

X_Q, Y_Q, Z_Q, M_Q ($X_Q = X'_Q, Y_Q = Y'_Q, Z_Q = Z'_Q, M_Q = M'_Q$) - составляющие реакции соединительного устройства Q , для всей конструкции в целом являются внутренними силами и в ее уравнения движения (равновесия) не включаются. Буду считать, что силы X_Q, Y_Q, Z_Q, M_Q действуют на основную часть со стороны опорной, Н, а силы X'_Q, Y'_Q, Z'_Q, M'_Q действуют со стороны основной части на опорную, Н.

$M_{1k}, M_{2k}, M_{3k}, M_{4k}$ - моменты трения качения в колесах трактора, в приближенных расчетах ими можно пренебречь, если это не противоречит уравнениям движения, Нм.

f, δ - коэффициенты трения скольжения (покоя) и трения качения, считаем, что они одинаковы для всех колес трактора, зависят от качества грунта, состояния колес и погодных условий; если трением качения пренебрегаем, то полагаем $\delta = 0$

$M_{\partial s}^1, M_{\partial s}^2$ - силовые моменты двигателя, действуют на мосты ведущих колес, определяют движущие силы сцепления, но сами относятся к внутренним силам и в уравнения движения трактора не включаются, Нм.

M_C^I - момент торсионного вала, Нм, оказывает прижимающее действие на раму устройства, является внутренним усилием и в уравнения движения (равновесия) трактора не включается. Силовой момент $M_C = M_C^I$ действует на

основную часть со стороны рамы. Для направления, изображенного на чертеже $M_C = M_C^I < 0$.

Если обозначить $\mu = \min(f \cdot R, \delta)$ - параметр трения, то во время движения вперед трактора для сил трения имеем (при отсутствии проскальзывания) следующее выражение [107]

$$F_i' = \frac{M_{дв}^i}{R} - \frac{\mu}{R} N_i \geq 0, (F_i')^2 + (F_i'')^2 < (f \cdot N_i)^2;$$

$$M_{дв}^1 = M_{дв}^4, M_{дв}^2 = M_{дв}^3; M_{ik} = \mu \cdot N_i \quad (i = \overline{1, 4}).$$

В частности, если пренебречь трением качения, считать $\delta = 0$, то в этих формулах следует применить $\mu = 0$.

Для установившегося рабочего движения колёсного трактора возможно считать, что силы, действующие на трактор и прокалыватель-щелерез, находятся в равновесии. Выбираем в качестве координатных осей $Oxyz$: ось Ox - по направлению движения, ось Oy - перпендикулярно плоскости движения вверх, ось Oz - в поперечном направлении (рисунок 2.9).

Уравнения равновесия рамы прокалывателя-щелереза AD принимают вид

$$\sum F_{ix} = 0; -X_C^I + F_x = 0 \quad (2.28)$$

$$\sum F_{iy} = 0; -Y_C^I - R_B^I + F_y = 0 \quad (2.29)$$

$$\sum M_{icZ} = 0; -R_B^I \cdot b + F_x \cdot h_2 + F_y(a + b) + M_C^I = 0 \quad (2.30)$$

Здесь $h_2 = (a + b)tg\varphi = L\sin\beta$

Уравнения равновесия колёсного трактора с прокалывателем-щелерезом (всей конструкции в целом, $H = h_1 + h_2 + h_3$, $H' = h_1' + h_2'$)

$$\sum F_{ix} = 0; F_1' + F_2' + F_3' + F_4' + (G_1' + G_2') \cdot \sin\alpha + F_x = 0; \quad (2.31)$$

$$\sum F_{iy} = 0; N_1 + N_2 + N_3 + N_4 - (G_1' + G_2') \cdot \cos\alpha + F_y = 0; \quad (2.32)$$

$$\sum F_{iz} = 0; F_1'' + F_2'' + F_3'' + F_4'' - (G_1'' + G_2'') \cdot \sin\gamma = 0; \quad (2.33)$$

$$\begin{aligned} \sum M_{ipz} = 0; & -(N_2 + N_3) \cdot (d + e + r) + M_{1k} + M_{2k} + M_{3k} + M_{4k} - \\ & - F_x \cdot h_3 + F_y \cdot (a + b + c) - G_1'(H \sin\alpha - d \cos\alpha) - \\ & - G_2'(H' \sin\alpha - (d + e + r + s) \cos\alpha) = 0; \quad (2.34) \end{aligned}$$

$$\sum M_{iEx} = 0; -(N_3 + N_4) \cdot 2l + (G_1'' + G_2'') \cos \gamma \cdot l - \\ - G_1'' \sin \gamma \cdot H - G_2'' \sin \gamma \cdot H' - F_y \cdot l = 0; \quad (2.35)$$

$$\sum M_{iEy} = 0; -(F_1'' + F_4'')(d + e + r) + (F_3' + F_4') 2l + \\ + F_x \cdot l + (G_1' + G_2') \sin \alpha \cdot l + G_1'' \sin \gamma \cdot (e + r) - G_2'' \sin \gamma \cdot s = 0. \quad (2.36)$$

Ось P_z совпадает с линией касания передних колес трактора, ось E_x совпадает с линией касания левых колес (по ходу движения); ось E_y параллельна оси Oy (согласно схеме на рисунке 2.9).

Уравнения движения (равновесия) для опорной задней части трактора

$$\sum F_{ix} = 0; -X'_Q + F_2' + F_3' + G_2' \cdot \sin \alpha = 0; \quad (2.37)$$

$$\sum F_{iy} = 0; -Y'_Q + N_2 + N_3 - G_2'' \cdot \cos \gamma = 0; \quad (2.38)$$

$$\sum F_{iz} = 0; Z'_Q + F_2'' + F_3'' - G_2'' \cdot \sin \gamma = 0; \quad (2.39)$$

$$\sum M_{iEz} = 0; M'_Q + M_{2k} + M_{3k} - \\ - Y'_Q \cdot r + X'_Q \cdot h'_2 - G_2'(H' \sin \alpha - s \cdot \cos \alpha) = 0; \quad (2.40)$$

$$\sum M_{iEx} = 0; -N_3 \cdot 2l + Y'_Q \cdot l + Z'_Q \cdot h'_2 + G_2''(l \cdot \cos \gamma - H' \cdot \sin \gamma) = 0; \quad (2.41)$$

$$\sum M_{iEy} = 0; -X'_Q \cdot l - Z'_Q \cdot r + F_3' \cdot 2l + G_2' \sin \alpha \cdot l - G_2'' \sin \gamma \cdot s = 0. \quad (2.42)$$

Из уравнений (2.28) – (2.30) находим реакции в опорах прокалывателя-щелереза

$$X_C = X_C^I = F_x;$$

$$Y_C = Y_C^I = -R_B^I + F_y = -\frac{1}{b} [(a + b)F_x \cdot \operatorname{tg} \varphi + a \cdot F_y + M_C^I];$$

$$R_B = R_B^I = \frac{1}{b} [F_x \cdot h_2 + F_y(a + b) + M_C^I] = \frac{1}{b} [(a + b)(F_x \cdot \operatorname{tg} \varphi + F_y) + M_C^I].$$

Уравнения (2.31) - (2.42) представляют собой систему двенадцати линейных алгебраических уравнений относительно 16 неизвестных составляющих реакций

$$N_1, N_2, N_3, N_4, F_1', F_2', F_3', F_4', F_1'', F_2'', F_3'', F_4'', X_Q, Y_Q, Z_Q, M_Q;$$

силы $N_1, N_2, N_3, N_4, F_1', F_2', F_3', F_4', F_1'', F_2'', F_3'', F_4''$ действуют на колеса трактора и являются внешними силами; силы X_Q, Y_Q, Z_Q, M_Q являются внутренними

усилиями. Считаем, что

$$Z'_Q = 0. \quad (2.43)$$

Что допускается при установившемся прямом рабочем равномерном движении колёсного трактора. Кроме этого, будем считать, что суммарные силы сцепления для каждой пары колес пропорциональны соответствующим суммарным нормальным реакциям, то есть

$$F'_1 + F'_4 = \lambda(N_1 + N_4), F'_2 + F'_3 = \lambda(N_2 + N_3), \quad (2.44)$$

где λ - коэффициент пропорциональности, определяется из уравнений (2.31), (2.32)

$$\lambda = -\frac{(G'_1 + G'_2) \cdot \sin \alpha + F_x}{(G'_1 + G'_2) \cdot \cos \alpha - F_y}.$$

Далее, силы $F''_1, F''_2, F''_3, F''_4$ по отдельности зависят от внутреннего напряженного состояния колес в паре и также требуют поиска дополнительных зависимостей. Ограничиваюсь определением суммарных составляющих в каждой паре колес

$$F''_{14} = F''_1 + F''_4, \quad F''_{23} = F''_2 + F''_3 \quad (2.45)$$

Условия (2.43) - (2.44) позволяют уравнять число неизвестных реакций и число уравнений и однозначно разрешить систему уравнений (2.31) - (2.42).

Произведем решение:

Сначала выделим из выражения (2.32)

$$N_1 + N_2 + N_3 + N_4 = (G'_1 + G'_2) \cdot \cos \alpha - F_y;$$

затем из (2.34):

$$\begin{aligned} N_2 + N_3 &= \frac{1}{d + e + r} [\mu(N_1 + N_2 + N_3 + N_4) - F_x \cdot h_3 + F_y \cdot (a + b + c) - \\ &\quad - G'_1(H \sin \alpha - d \cos \alpha) - G'_2(H' \sin \alpha - (d + e + r + s) \cos \alpha)] = \\ &= \frac{1}{d + e + r} [-F_x \cdot h_3 + F_y \cdot (a + b + c - \mu) - G'_1(H \sin \alpha - (d + \mu) \cos \alpha) - \\ &\quad - G'_2(H' \sin \alpha - (d + e + r + s + \mu) \cos \alpha)]. \end{aligned}$$

Из уравнения (2.38) примем

$$\begin{aligned}
Y'_Q &= N_2 + N_3 - G_2'' \cdot \cos \gamma = N_2 + N_3 - G_2' \cdot \cos \alpha = \\
&= \frac{1}{d+e+r} [-F_x \cdot h_3 + F_y \cdot (a+b+c-\mu) - G_1'(H \sin \alpha - (d+\mu) \cos \alpha) - \\
&\quad - G_2'(H' \sin \alpha - (s+\mu) \cos \alpha)]. \tag{2.46}
\end{aligned}$$

Из уравнения (2.41)

$$\begin{aligned}
N_3 &= \frac{1}{2o} [Y_Q^I \cdot o + G_2^I(o \cdot \cos \gamma - H^I \cdot \sin \gamma)] = \frac{1}{2(d+e+r)} [-F_x \cdot h_3 + F_y(a+b+c-\mu) - \\
&G_1^I(H \sin \alpha - (d+\mu) \cos \alpha) - G_2^I(H^I \sin \alpha - (s+\mu) \cos \alpha)] + \frac{1}{2o} G_2^{II}(o \cdot \cos \gamma - \\
&\quad H^I \cdot \sin \gamma) \tag{2.47}
\end{aligned}$$

Из уравнения (2.35)

$$\begin{aligned}
N_4 &= -N_3 + \frac{1}{2}(G_1^{II} + G_2^{II}) \cos \gamma - \frac{1}{2o} [(G_1^{II} \cdot H + G_2^{II} \cdot H^I) \sin \gamma + F_y \cdot o] = \\
&= -\frac{1}{2}(Y_Q^I + F_y) + \frac{1}{2o} G_1^{II}(o \cdot \cos \gamma - H \sin \gamma) = \frac{1}{2} F_y + \frac{1}{2o} G_1^{II}(o \cdot \cos \gamma - H \sin \gamma) - \\
&\frac{1}{2(d+e+r)} [-F_x \cdot h_3 + F_y(a+b+c-\mu) - G_1^I(H \sin \alpha - (d+\mu) \cos \alpha) - G_2^I(H^I \sin \alpha - \\
&\quad (s+\mu) \cos \alpha)] \tag{2.48}
\end{aligned}$$

Из уравнения (2.38)

$$\begin{aligned}
N_2 &= -N_3 + Y_Q^I + G_2^{II} \cdot \cos \gamma = \frac{1}{2o} [Y_Q^I \cdot o + G_2^{II}(o \cdot \cos \gamma + H \sin \gamma)] = \frac{1}{2(d+e+r)} [-F_x \cdot \\
&h_3 + F_y(a+b+c-\mu) - G_1^I(H \sin \alpha - (d+\mu) \cos \alpha) - G_2^I(H^I \sin \alpha - (s+ \\
&\quad \mu) \cos \alpha)] + \frac{1}{2o} G_2^{II}(o \cdot \cos \gamma + H^I \sin \gamma) \tag{2.49}
\end{aligned}$$

Из уравнения (2.32)

$$\begin{aligned}
N_1 &= -(N_2 + N_3 + N_4 + F_y) + (G_1^I + G_2^I) \cos \alpha = \frac{1}{2o} G_2^{II}(o \cdot \cos \gamma + H^I \sin \gamma) - \frac{1}{2} F_y - \\
&\frac{1}{2} Y_Q^I = \frac{1}{2o} G_1^{II}(o \cdot \cos \gamma + H \sin \gamma) - \frac{1}{2} F_y - \frac{1}{2(d+e+r)} [-F_x \cdot h_3 + F_y(a+b+c-\mu) - \\
&\quad G_1^I(H \sin \alpha - (d+\mu) \cos \alpha) - G_2^I(H^I \sin \alpha - (s+\mu) \cos \alpha)] \tag{2.50}
\end{aligned}$$

Из уравнений (2.33), (2.39)

$$F_{23}'' = G_2'' \cdot \sin \gamma, \quad F_{14}'' = G_1'' \cdot \sin \gamma. \tag{2.51}$$

Из уравнения (2.37)

$$\begin{aligned}
X'_Q &= F_2' + F_3' + G_2' \cdot \sin \alpha = \lambda(N_2 + N_3) + G_2' \cdot \sin \alpha \\
&= \frac{\lambda}{d+e+r} [-F_x \cdot h_3 + F_y \cdot (a+b+c-\mu) - G_1'(H \sin \alpha - (d+\mu) \cos \alpha) -
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -G'_2(H' \sin \alpha - (d + e + r + s + \mu) \cos \alpha)] + G'_2 \cdot \sin \alpha = \\
= & -\frac{1}{d + e + r} \cdot \frac{(G'_1 + G'_2) \cdot \sin \alpha + F_x}{(G'_1 + G'_2) \cdot \cos \alpha - F_y} [-F_x \cdot h_3 + F_y \cdot (a + b + c - \mu) - \\
& -G'_1(H \sin \alpha - (d + \mu) \cos \alpha) - G'_2(H' \sin \alpha - (d + e + r + s + \mu) \cos \alpha)] \\
& + G'_2 \cdot \sin \alpha. \tag{2.52}
\end{aligned}$$

Из уравнения (2.42)

$$\begin{aligned}
F_3^I = \frac{1}{2} (X_Q^I - G_2^I \sin \alpha) + \frac{1}{2o} G_2^{II} \sin \gamma \cdot s = & -\frac{1}{2(d+e+r)} \cdot \frac{(G_1^I + G_2^I) \sin \alpha + F_x}{(G_1^I + G_2^I) \cos \alpha - F_y} [-F_x \cdot h_3 + \\
F_y(a + b + c - \mu) - G_1^I(H \sin \alpha - (d + \mu) \cos \alpha) - G_2^I(H' \sin \alpha - (d + e + r + s + \\
& \mu) \cos \alpha)] + \frac{s}{2o} G_2^{II} \sin \gamma \tag{2.53}
\end{aligned}$$

Из уравнения (2.36)

$$\begin{aligned}
(F_3^I + F_4^I) 2o = F_4^I(d + e + r) - F_x \cdot o - (G_1^I + G_2^I) \sin \alpha \cdot o - G_1^{II} \sin \gamma (e + r) + \\
G_2^{II} \sin \gamma \cdot s = (G_1^{II} \cdot d + G_2^{II} \cdot s) \sin \gamma - (G_1^I + G_2^I) \sin \alpha \cdot o - F_x \cdot o, \\
F_4^I = -F_3^I + \frac{1}{2o} (G_1^{II} \cdot d + G_2^{II} \cdot s) \sin \gamma - \frac{1}{2} (G_1^I + G_2^I) \sin \alpha - \frac{1}{2} F_x = \frac{1}{2(d+e+r)} \cdot \\
\frac{(G_1^I + G_2^I) \sin \alpha + F_x}{(G_1^I + G_2^I) \cos \alpha - F_y} [-F_x \cdot h_3 + F_y(a + b + c - \mu) - G_1^I(H \sin \alpha - (d + \mu) \cos \alpha) - \\
G_2^I(H' \sin \alpha - (d + e + r + s + \mu) \cos \alpha)] + \frac{d}{2o} G_2^{II} \sin \gamma - \frac{1}{2} (G_1^I + G_2^I) \sin \alpha - \frac{1}{2} F_x \tag{2.54}
\end{aligned}$$

Из уравнения (2.40)

$$\begin{aligned}
M'_o = -\mu(N_2 + N_3) + Y'_o \cdot r - X'_o \cdot h'_2 + G'_2(H' \sin \alpha - s \cdot \cos \alpha) = \\
= (r - \lambda \cdot h'_2 - \mu)(N_2 + N_3) + G'_2(h'_1 \sin \alpha - (r + s) \cdot \cos \alpha) = \\
= \frac{r - \lambda \cdot h'_2 - \mu}{d + e + r} [-F_x \cdot h_3 + F_y \cdot (a + b + c - \mu) - G'_1(H \sin \alpha - (d + \mu) \cos \alpha) - \\
- G'_2(H' \sin \alpha - (d + e + r + s + \mu) \cos \alpha)] + G'_2(h'_1 \sin \alpha - (r + s) \cdot \cos \alpha). \tag{2.55}
\end{aligned}$$

Из уравнения (2.37)

$$\begin{aligned}
F_2^I = X_Q^I - F_3^I - G_2^I \cdot \sin \alpha = \frac{\lambda}{2} (N_2 + N_3) - \frac{s}{2o} G_2^{II} \sin \gamma = \frac{\lambda}{2(d+e+r)} [-F_x \cdot h_3 + \\
F_y(a + b + c - \mu) - G_1^I(H \sin \alpha - (d + \mu) \cos \alpha) - G_2^I(H' \sin \alpha - (d + e + r + s + \\
\mu) \cos \alpha)] - \frac{s}{2o} G_2^{II} \sin \gamma \tag{2.56}
\end{aligned}$$

Из уравнения (2.44)

$$\begin{aligned}
F_1^I = \lambda(N_1 + N_4) - F_4^I = -\frac{\lambda}{2}(N_2 + N_3) - \frac{1}{2}(G_1^I + G_2^I)\sin\alpha - \frac{d}{20}G_1^{II}\sin\gamma - \frac{1}{2}F_x = \\
\frac{1}{2(d+e+r)} \cdot \frac{(G_1^I+G_2^I)\sin\alpha+F_x}{(G_1^I+G_2^I)\cos\alpha-F_y} \left[-F_x \cdot h_3 + F_y(a+b+c-\mu) - G_1^I(H\sin\alpha - (d+\mu)\cos\alpha) - G_2^I(H\sin\alpha - (d+e+r+s+\mu)\cos\alpha) \right] - \frac{1}{2}(G_1^I + G_2^I)\sin\alpha - \\
\frac{d}{20}G_1^{II}\sin\gamma - \frac{1}{2}F_x \quad (2.57)
\end{aligned}$$

Для определения условий предельного перехода к движению со скольжением, рассматриваем равнодействующие силы [27,28]

$$N_{14} = N_1 + N_4, \quad N_{23} = N_2 + N_3; \quad F_{14}' = F_1' + F_4', \quad F_{23}' = F_2' + F_3'.$$

Для стабильности рабочего режима колёсного трактора (отсутствие пробуксовки движителей или бокового сноса в передней и задней паре колес) в первом приближении необходимо обеспечить условие

$$(F_{14}')^2 + (F_{14}'')^2 < f^2 N_{14}^2, \quad (F_{23}')^2 + (F_{23}'')^2 < f^2 N_{23}^2,$$

При этом используем ранее полученные выражения (2.46) - (2.57).

Представляет интерес также условие «вздыбливания» трактора, когда, натываясь прокалывателем-щелерезом на жесткую преграду, передние колеса трактора могут потерять контакт с грунтом. При этом передний мост разгружается на величину

$$N_1 + N_4 < 0,$$

или, составляя уравнение моментов сил относительно оси Ez , проходящей через точку E параллельно Pz ,

$$\begin{aligned}
\sum M_{Ezi} = 0; \quad (N_1 + N_4)(d+e) + M_{1k} + M_{2k} + M_{3k} + M_{4k} - F_x \cdot h_2 + \\
+ F_y \cdot (a+b+c+d+e+r) - G_1'(H\sin\alpha + (e+r)\cos\alpha) - \\
- G_2'(H'\sin\alpha - s \cdot \cos\alpha) = 0,
\end{aligned}$$

Получено:

$$\begin{aligned}
M_{2k} + M_{3k} - F_x \cdot h_2 + F_y \cdot (a+b+c+d+e+r) - \\
- G_1'(H\sin\alpha + (e+r)\cos\alpha) - G_2'(H'\sin\alpha - s \cdot \cos\alpha) > 0,
\end{aligned}$$

или

$$\mu(N_2 + N_3) - F_x \cdot h_2 + F_y \cdot (a + b + c + d + e + r) - \\ - G'_1(H \sin \alpha + (e + r) \cos \alpha) - G'_2(H' \sin \alpha - s \cdot \cos \alpha) > 0. \quad (2.58)$$

Таким образом получены зависимости, являющиеся теоретическим обоснованием динамических параметров воздействия фронтального прокальвателя-щелереза на конструкцию колёсного трактора и поверхность движения.

2.3 Определение тягового усилия колёсного энергетического средства с установленным фронтальным прокальвателем-щелерезом в условиях движения по склону

Неоднородность и специфичность физико-географических и естественно-климатических условий Амурской области привели к формированию во всем регионе сложного, в генетическом плане покровно-плодородного слоя почвы.

При этом значительное влияние на урожайность и производство сельскохозяйственных культур в области оказывает наличие почти на всей территории региона глинозёмов высокой степени дисперсности, что обуславливает формирование в плодородном слое твердого подстиляющего глинистого слоя различной толщины, так как затрудняется проникновение влаги по всей глубине. В связи с чем в результате выпадения большого количества осадков на полях образуются участки повышенной влажности и заболоченные участки различных размеров, снижающих полезные посевные площади.

Эмпирическими наблюдениями установлено, что на нынешнем этапе развития региональное земледелие, основанное на традиционных технологиях возделывания, испытывает ряд негативных последствий интенсификации производства. При этом особенно часто отмечается снижение урожайности при переуплотнении почвы ходовыми системами колёсных энергетических средств и агрегируемых машин. Выявлено, что при проведении всех мероприятий по возделыванию сельскохозяйственных культур различные машины проходят по

полю от 5 до 15 раз, иногда «след в след», что отрицательно влияет на физико-механические свойства почвы, приводит к увеличению энергозатрат на её обработку и снижению урожая сельскохозяйственных культур.

В современных условиях снижение техногенного воздействия движителей на почву реализовано совмещением нескольких полевых операций за один проход агрегата и применением комбинированных почвообрабатывающих машин.

Однако использование этих комбинированных машин приводит к значительному увеличению тягового сопротивления агрегатов. В связи с чем, во избежание снижения скорости во время посева и обработки почвы, а также уменьшения ширины захвата машин, тракторы должны быть достаточно мощными и энергонасыщенными.

Современный уровень средств механизации агропромышленного комплекса региона позволяет выбрать из имеющейся линейки энергетических средств наиболее подходящий и надежный, способный применяться для комбинированных полевых машин, колёсный трактор полурамной компоновочной конструкции класса 5-8 типа «Кировец» или «Версатил».

Комбинированные машинно-тракторные агрегаты (МТА) при этом будут обеспечивать:

- возможность подготовки почвы для посева за один проход;
- универсальность работы на любых типах почв при высоких показателях влажности и глубины обработки;
- легкость и простоту конструкций, совмещённую с достаточной надежностью;
- хорошую курсовую и тракторную устойчивость, приспособленность к неровностям рельефа поля;
- совместимость рабочих органов отдельных машин, позволяющую их комбинировать и агрегатировать.

В целях качественного анализа приспособленности энергонасыщенного колёсного трактора к агрегатированию комбинированными сельскохозяйственными орудиями рассмотрим его конструктивные особенности.

Как известно, большое значение на тягово-цепные свойства колёсных энергетических средств оказывает рельеф местности и состояние поверхности движения. При этом в условиях склоновых земель за счет большого стока поверхностных вод происходит переувлажнение склонов и развивается эрозия почвы [5,7,8,15,20,88,164].

Во время работы машинно-тракторных агрегатов с прицепными агрегатами вдоль склона колёсный трактор, как правило, затрачивает большую мощность двигателя для преодоления подъемов, при этом увеличивается его тяговое сопротивление, снижается скорость движения и его производительность.

В целях качественного анализа приспособленности энергонасыщенного колёсного трактора к агрегатированию комбинированными сельскохозяйственными орудиями при преодолении подъемов и спусков рассмотрим его конструктивные особенности.

Для чего определим распределение составляющих реакций поверхности почвы на колёсный трактор в серийном варианте с почвообрабатывающим агрегатом согласно принципиальной схеме, предложенной на рисунке 2.10.

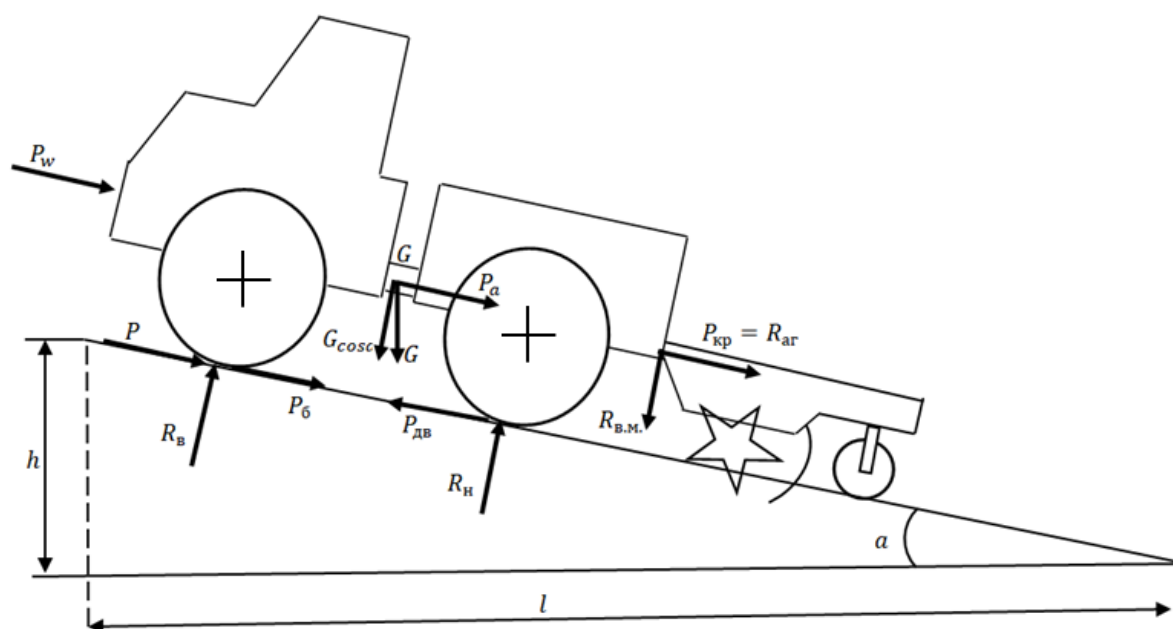


Рисунок 2.10 - Схема реакций сил поверхности почвы, действующих на трактор при его движении на подъём, где $P_{дв}$ – движущая сила трактора, Н; P_w – сила сопротивления воздушной среды, Н; P_a – сила сопротивления подъему (спуску),

Н; $P_{кр}$ – усилие на крюке, Н; P – сила сопротивления движению, Н; $P_б$ – сила, затраченная на буксование трактора, Н; P_a – сила сопротивления агрегата, Н; $R_в, R_н$ – сопротивление почвы в передней и задней части трактора, Н; h – высота подъема, м; l – длина подъема, м; a – угол подъема, град.

Согласно закону динамики, любое передвижение колёсного машинно-тракторного агрегата будет возможно при условии

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P_{дв} - P_{кр} - P_б - P_f - P_a - P_w}{M_a}, \quad (2.59)$$

где $\frac{dV}{dt}$ – это ускорение движения МТА, м/с²;

M_a – масса машинно-тракторного агрегата, приведенная к поступательному движению, кг;

P_f – сила сопротивления движению самого энергетического средства, Н.

Известно [85], что $M_a \frac{dV}{dt}$ является силой инерции P_j , вследствие этого движение МТА можно записать в виде

$$P_{дв} = P_{кр} + P_б + P_f + P_a + P_w + P_j, \quad (2.60)$$

Учитывая, что во время посева, сбора урожая сельскохозяйственные агрегируемые машины работают на небольших скоростях, то в проведенных нами расчетах силой сопротивления воздушной среды можно просто пренебречь.

В связи с физико-механическими свойствами почв, глубины ее обработки, некоторые величины из уравнения (2.60), в процессе работы МТА постоянно будут меняться. Как правило, наивысшим изменениям подвергается сила инерции P_j . Максимальные ее значения будут возможны в начале движения колёсного энергетического средства, а также при остановках на подъемах и спусках.

Таким образом, в результате роста силы сопротивления движению (+ ΔP_c) ускорение, а также сила инерции, приобретет отрицательное значение (- P_j), а в случае понижения силы сопротивления (- ΔP_c) – положительное значение

(+ P_j). В этом случае скорость движения колёсного машинно-тракторного агрегата будет постоянна, то есть равна нулю [105]. В результате получим

$$P_{дв} = P_{кр} + P_б + P_f \pm P_a, \quad (2.61)$$

Из уравнения (2.61) видно, что тяговое усилие на крюке $P_{кр}$ будет учитываться движущей силой трактора $P_{дв}$ за вычетом действующих сил, возникающих при буксовании колёсного движителя $P_б$ и в ходе движения трактора по инерции P_f , а также при преодолении им подъема (при его наличии) P_a , то есть

$$P_{кр} = P_{дв} - P_б - P_f - P_a, \quad (2.62)$$

В этом случае воздействие различных реакций, возникающих при буксовании колёсного трактора определим по формуле

$$P_б = P_{дв} \delta, \quad (2.63)$$

где δ - коэффициент буксования.

Сам же коэффициент буксования δ будет изменяться, в зависимости от покровно-плодородного слоя почвы и возникающей на нее нагрузки веса машинно-тракторного агрегата, но все же он будет ограничен некоторым определенным значением. В нашем случае он будет составлять $\delta_d = 0,15$ [71,85,141,169]

Рассмотрим случай, когда колёсный трактор будет передвигаться по полю с комбинированным почвообрабатывающим агрегатом и у него будет невысокое сцепление с почвой. При этом движущая сила трактора будет зависеть от сцепных свойств энергетического средства и допустимого буксования

$$P_{дв} = \lambda G \mu \delta_d, \quad (2.64)$$

где λ - часть веса трактора, приходящаяся на движитель; в нашем случае она будет $\lambda=1$ [85,169]; G - вес трактора, кН; μ - коэффициент сцепления движителя колёсного трактора с почвой.

В случае, когда сцепление ведущих колес трактора класса 5-8 с почвой будет на максимальном уровне, движущая сила станет равна касательной силе трактора

$$P_{\text{кст}} = P_{\text{дв}} = 3,6 \frac{N_e^H \eta_m}{V_T^i}, \quad (2.65)$$

где N_e^H - номинальная эффективная мощность двигателя, кВт;
 V_T^i - теоретическая скорость движения трактора на i -той передаче, км/ч;
 η_m - механический КПД, учитывающий потери мощности в трансмиссии: для колёсных тракторов она будет $\eta_m = 0,91 \dots 0,92$

Сила сопротивления передвижению (качению) колёсного машинно-тракторного агрегата P_f будет пропорциональна вертикальной составляющей веса трактора $G \cos \alpha$ и будет зависеть от физико-механических свойств почвы, а также от конструкции самого колёсного движителя

$$P_f = G \cos \alpha f, \quad (2.66)$$

где f - коэффициент сопротивления качению

При минимальном угле подъема (до $7 \dots 10$ градусов) можно считать, что $\cos \alpha \approx 1$. Тогда:

$$P_f = Gf \quad (2.67)$$

Известно, что величина коэффициента сопротивления качению зависит от типа и состояния плодородного слоя почвы, распределения веса трактора по его осям, типа используемого движителя, скоростных характеристик и т.д. Средние значения коэффициента приведены в таблице 2.1 [71,85,141,166]

Таблица 2.1 - Примерные значения коэффициента сопротивления качению f

Поверхность почвы	Коэффициент
Сухая грунтовая дорога	0,03...0,05
Залежь	0,03...0,06
Стерня нормальной влажности	0,06...0,08
Почва, подготовленная под посев, свежевспаханное поле, чистый пар	0,16...0,20

В этом случае сила, затрачиваемая колёсным энергетическим средством на преодоление подъема (спуска) P_a будет зависеть лишь от веса самого трактора и величины угла подъема, то есть, $P_a = G \sin \alpha$. Однако при малых значениях угла α можно сказать, что $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{l} = i$ (рисунок 2.10). Таким образом уклон i будет зависеть от

$$P_a = \pm Gi/100 \quad (2.68)$$

где знак " + " будет соответствует подъему, а знак " - " спуску машинно-тракторного агрегата.

Исходя из этого P_f и P_a будет определяться по выражению

$$P_{fa} = G(f \pm \frac{i}{100}) \quad (2.69)$$

Далее из уравнения тягового баланса (3.3), с учетом выражений (2.64, 2.65 и 2.69), тяговое усилие, возникающее на крюке колёсного энергетического средства (рисунок 2.10), будет вычисляться по формулам:

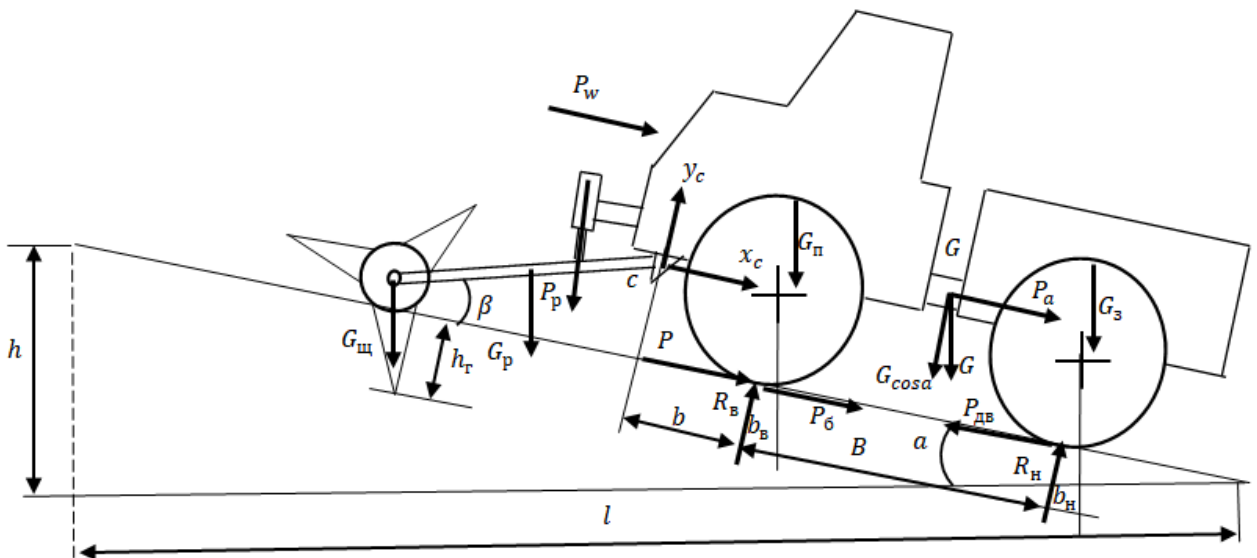
при нормальном сцеплении движителя с почвой

$$P_{кр} = 3,6 \frac{N_{\epsilon}^H \eta_m}{V_T^i} (1 - \delta) - G(f \pm \frac{i}{100}), \quad (2.70)$$

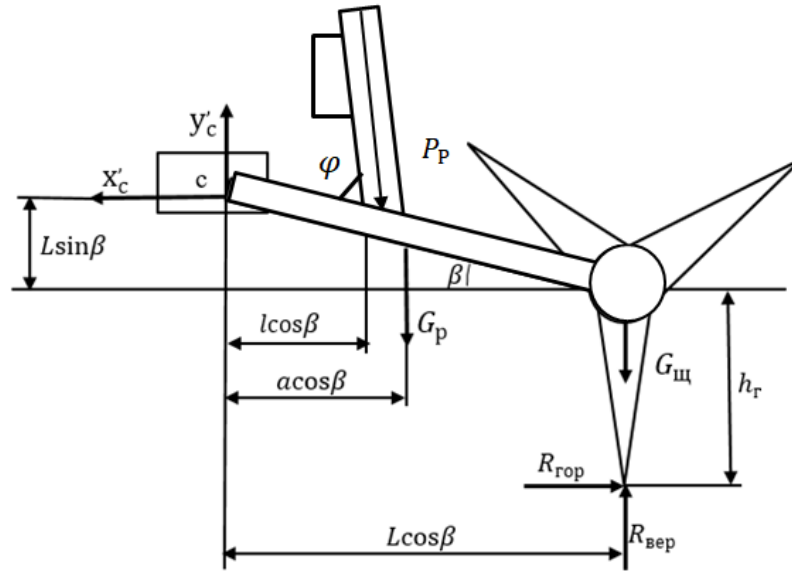
при недостаточном сцеплении движителя с почвой

$$P_{кр} = \lambda G \mu \delta_d (1 - \delta) - G(f \pm \frac{i}{100}) \quad (2.71)$$

Определим вертикальные составляющие силовой реакции поверхности почвы на колёсный трактор с установленным фронтальным прокальвателем-щелерезом в рабочем состоянии используя схемы на рисунке 2.11 (а и б) Для этого рассмотрим составную конструкцию в виде отдельных элементов: «трактор + прокальватель-щелерез» [162,164,172,201].



a)



б)

Рисунок 2.11 - Схема к определению реакций поверхности почвы на колёсный трактор с установленным фронтальным прокальвателем-щелерезом в рабочем состоянии: а) элемент-трактор. б) элемент-прокальватель-щелерез, где h_r - расстояние от поверхности почвы до точки прокальвания почвенного пласта, м; P_p - усилие в нагружающем гидроцилиндре для удержания устройства в рабочем положении, м; $R_{гор}$ - горизонтальное сопротивление почвы, действующее на лучеобразный прокальвающий рабочий орган, Н; $R_{вер}$ - вертикальное силовое сопротивление почвы прокальванию, действующее на лучеобразный прокальвающий рабочий орган, Н; x'_c y'_c - силы действующие на переднюю часть трактора в точке с; углы φ и β определяются конструктивно, зависят от заглубления рабочих органов вспомогательного устройства, град; B - расстояние между передними и задними колесами трактора, м; b - расстояние от переднего моста трактора до точки с, м; b_B и b_H - расстояние от центра тяжести передней и задней части трактора до точек опоры в верхней и нижней точке, м.

Согласно рисунку 2.11а уравнение равновесия для элемента составной конструкции - «трактор», где:

$$\sum F_{kx} = 0 \quad -x'_c P_p \cos(\beta + \varphi + a) + R_{гор} = 0. \quad (2.72)$$

$$\sum F_{ky} = 0 \quad y'_c - P_p \sin(\beta + \varphi + a) - G_p - G_{щ} + R_{вер} = 0. \quad (2.73)$$

$$\sum M_c(F_k) = 0 \quad P_p \sin(\beta + \varphi + a) l \cos \beta + G_p a \cos \beta + G_{\text{щ}} L \cos \beta - \\ - R_{\text{гор}}(h + L \sin \beta) - R_{\text{вер}} L \cos \beta = 0. \quad (2.74)$$

Из выражения (2.74) определим рабочее усилие в нагружающем гидроцилиндре при работе устройства

$$P_p = \frac{R_{\text{гор}}(h + L \sin \beta) + R_{\text{вер}} L \cos \beta - G_p a \cos \beta - G_{\text{щ}} L \cos \beta}{\sin(\beta + \varphi + a) l \cos \beta}. \quad (2.75)$$

Из выражений (2.74) и (2.75) определим реакции в точке С

$$y'_c = P_p \sin(\beta + \varphi + a) + G_p + G_{\text{щ}} - R_{\text{вер}},$$

Или с учетом выражения (2.75)

$$y'_c = \frac{R_{\text{гор}}(h + L \sin \beta) + R_{\text{вер}} L \cos \beta - G_p a \cos \beta - G_{\text{щ}} L \cos \beta}{l \cos \beta} + G_p + G_{\text{щ}} - R_{\text{вер}}. \quad (2.76)$$

Тогда $x'_c = P_p \cos(\beta + \varphi) + R_{\text{гор}}$, а с учетом выражения 2.75

$$x'_c = \frac{R_{\text{гор}}(h + L \sin \beta) + R_{\text{вер}} L \cos \beta - G_p a \cos \beta - G_{\text{щ}} L \cos \beta}{l \cos \beta} \text{ctg}(\beta + \varphi + a) + R_{\text{гор}}. \quad (2.77)$$

Согласно схеме на рисунке 2.11б составим уравнения равновесия для элемента составной конструкции трактора - «прокальыватель-щелерез»

$$\sum M_1(F_k) = 0 \quad G_3 b_3 + G_{\text{п}}(B - b_{\text{п}}) - y''_{\text{п}} B - x'_c h - y'_c(B + b) = 0 \quad (2.78)$$

$$\sum M_2(F_k) = 0 \quad y'_3 B - G_{\text{п}} b_{\text{п}} - G_3(B - b_3) - x'_c h - y'_c b = 0 \quad (2.79)$$

Из выражения (2.78) определим вертикальную составляющую реакции почвы на передний мост трактора

$$R_B = \frac{G_3 b_3 + G_{\text{п}}(B - b_{\text{п}}) - x'_c h - y'_c(B + b)}{B} = \frac{G_3 b_3 + G_{\text{п}}(B - b_{\text{п}})}{B} - \frac{x'_c h + y'_c(B + b)}{B}.$$

Или с учетом выражений (2.76) и (2.77)

$$R_B = \frac{G_3 b_3 + G_{\text{п}}(B - b_{\text{п}})}{B} - \left[\frac{R_{\text{гор}}(h + L \sin \beta) + R_{\text{вер}} L \cos \beta - G_p a \cos \beta - G_{\text{щ}} L \cos \beta}{l \cos \beta} \text{ctg}(\beta + \varphi + a) + \right. \\ \left. R_{\text{гор}} h + \frac{R_{\text{гор}}(h + L \sin \beta) + R_{\text{вер}} L \cos \beta - G_p a \cos \beta - G_{\text{щ}} L \cos \beta}{l \cos \beta} \cdot \frac{(B + b)}{B} + (G_{\text{п}} + G_{\text{щ}} - R_{\text{вер}}) \cdot \frac{(B + b)}{B} \right],$$

или

$$R_B = \frac{G_3 b_3 + G_{\text{п}}(B - b_{\text{п}})}{B} - \left[\frac{R_{\text{гор}}(h + L \sin \beta) + R_{\text{вер}} L \cos \beta - G_p a \cos \beta - G_{\text{щ}} L \cos \beta}{l \cos \beta} \cdot (\text{ctg}(\beta + \varphi + a) h + \right. \\ \left. B + b) + R_{\text{гор}} \frac{h}{B} + (G_{\text{п}} + G_{\text{щ}} - R_{\text{вер}}) \cdot \frac{(B + b)}{B} \right]$$

(2.80)

Из выражения (2.80) определим вертикальную составляющую реакции почвы на задний мост трактора

$$R_H = \frac{G_{\Pi} b_{\Pi} + G_3(B - b_3)}{B} + \frac{x_c h + y_c b}{B},$$

Или с учетом выражений 2.76 и 2.77

$$R_H = \frac{G_{\Pi} b_{\Pi} + G_3(B - b_3)}{B} + \frac{R_{\text{гор}}(h_{\Gamma} + L \sin \beta) + R_{\text{вер}} L \cos \beta - G_p a \cos \beta - G_{\text{щ}} L \cos \beta}{l \cos \beta B} \operatorname{ctg}(\beta + \varphi + a) h +$$

$$R_{\text{гор}} \frac{h}{B} + \frac{R_{\text{гор}}(h_{\Gamma} + L \sin \beta) + R_{\text{вер}} L \cos \beta - G_p a \cos \beta - G_{\text{щ}} L \cos \beta}{l \cos \beta} \cdot \frac{b}{B} + (G_{\Pi} + G_{\text{щ}} - R_{\text{вер}}) \cdot \frac{b}{B},$$

или

$$R_H = \frac{G_{\Pi} b_{\Pi} + G_3(B - b_3)}{B} + \left[\frac{R_{\text{гор}}(h_{\Gamma} + L \sin \beta) + R_{\text{вер}} L \cos \beta - G_p a \cos \beta - G_{\text{щ}} L \cos \beta}{l \cos \beta B} \cdot (\operatorname{ctg}(\beta + \varphi + a) h + \right.$$

$$\left. b) + R_{\text{гор}} \frac{h}{B} + (G_{\Pi} + G_{\text{щ}} - R_{\text{вер}}) \cdot \frac{b}{B} \right]$$

(2.81)

Исходя из анализа полученных выражений (2.80) и (2.81) можно сделать следующий вывод, что при работе предлагаемого устройства - фронтального прокалывателя-щелереза передний мост трактора разгружается (2.80), а задний мост трактора загружается (2.81).

Таким образом, передаваемая на задний мост трактора вертикальная нагрузка, получаемая при перераспределении сцепного веса между мостами, позволит увеличить тягово-сцепные свойства колёсного трактора, улучшить его проходимость, снизить буксование и техногенное воздействие ходовой системы на обрабатываемые почвы.

2.4 Обоснование выбора формы рабочих органов для фронтального прокалывателя-щелереза

В настоящее время в сельскохозяйственных предприятиях Амурской области отмечается значительное расширение парка универсально-пропашных колёсных тракторов за счёт покупки энергетических средств полурамной схемы, которые способны выполнять различные технологические операции в составе

широкозахватных комбинированных машинно-тракторных агрегатов с передней и задней фронтальными навесками сельскохозяйственных машин.

В работах [62,104] отмечается, что при использовании МТА на склоновых поверхностях необходимо повышать продольную и поперечную устойчивость для обеспечения безопасности выполнения работ в условиях переувлажнения нижних горизонтальных слоёв почвы из-за возможного их скольжения вследствие низкой несущей способности почвы.

Конструктивные особенности лучеобразных разуплотняющих рабочих органов предлагаемого фронтального прокальвателя-щелереза при перекачивании и заглублении в почву формируют ровную пунктирную воронкообразную линию разреза поверхностного почвенного пласта, что позволяет отводить лишнюю влагу из прилегающих к разрезу слоёв и увеличить её запасы в подпочвенном слое, таким образом улучшая условия жизнедеятельности растений и устраняя возможность скольжения МТА по поверхности склона.

Таким образом, предлагаемая форма контура рабочих частей фронтального прокальвателя-щелереза в виде равнобедренного треугольного луча является одной из основных конструктивных параметров, влияющих на качество работы сельскохозяйственной техники с предлагаемой агрегирующей конструкцией, так как именно такая геометрическая форма лучеобразных разуплотняющих рабочих органов, при таких же других параметрах и режимах работы в значительной степени будет определять кинематику взаимодействия фронтального прокальвателя-щелереза с почвой, а следовательно, и качество его работы.

В результате оптимальным выбором формы лучеобразных разуплотняющих рабочих органов представляется вытянутый равнобедренный треугольник в виде луча (рисунок 2.12), при этом в качестве главного критерия необходимо принять величину угла входа рабочих прокальвающих органов-лучей в почву, а максимальную глубину обрабатываемой поверхности - в качестве дополнительного критерия.

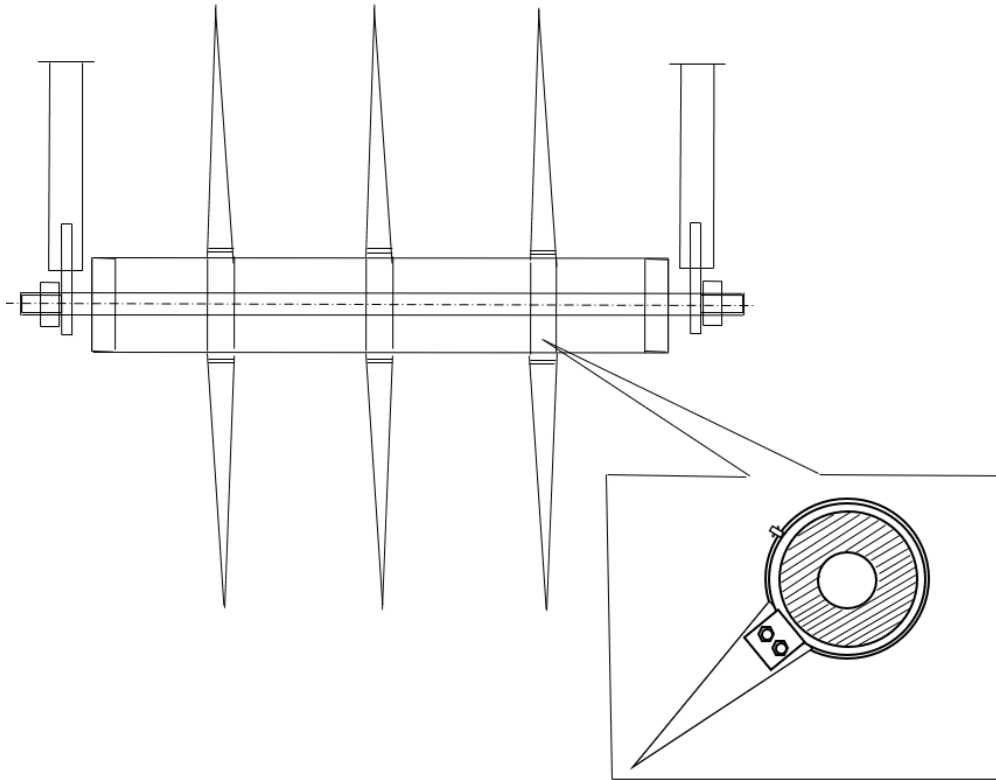


Рисунок 2.12 – Предлагаемая форма лучеобразных разуплотняющих рабочих органов

Угол оптимального входа рабочего разуплотняющего прокалывающего органа ϵ_n в почву будет равен:

$$\epsilon_n = \arccos \frac{R_H - h}{R_H}, \quad (2.82)$$

Где R_H – радиус оборота лучеобразных разуплотняющих рабочих органов вокруг оси;

h - глубина входа лучеобразных органов в почву, м.

Однако с точки зрения кинематики угол вхождения лучеобразных равнобедренных треугольников в почву будет напрямую зависеть только от соотношения:

$$\frac{R_H - h}{R_H}, \quad (2.83)$$

А при использовании предлагаемой формы лучеобразных равнобедренных треугольников (рисунок 2.13) уравнения движения точки С примет вид:

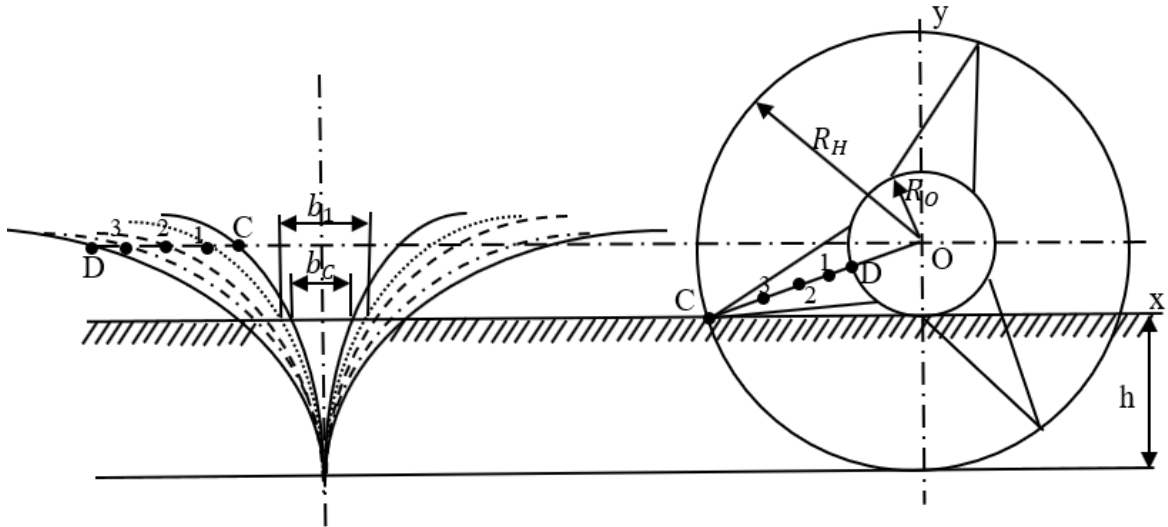


Рисунок 2.13 - Траектории и расположение точек (С) и (D) прямолинейно расположенных лучеобразных равнобедренных треугольников при взаимодействии с почвенной средой

$$\begin{aligned} x &= R_H(1 - R_H)\sin 1 \\ y &= (R_H - R_O)\cos 1 \end{aligned} \quad (2.84)$$

Где R_O – радиус оси передней фронтальной поперечной трубчатой тяги, м.

Исходя из этого, размеры участка поверхности почвы, обрабатываемой лучеобразными равнобедренными треугольниками за один оборот передней фронтальной поперечной трубчатой тяги, можно определить аналитически по координатам точек пересечения соответствующих циклоид с прямой, в результате $y = h$.

Тогда для точки С значения будут иметь вид:

$$x_C = R_H \arccos\left(1 - \frac{h}{R_H}\right) - \sin \arccos\left(1 - \frac{h}{R_H}\right) \quad (2.85)$$

После некоторых внесенных изменений в уравнение (2.85) получим:

$$x_C = R_H \arccos\left(\frac{R_H-h}{R_H}\right) - \sqrt{2R_H h - h^2} \quad (2.86)$$

А для точки D уравнение будет выглядеть:

$$x_D = R_H \arccos\left(\frac{R_H-h}{R_O}\right) - R_O \sin \arccos\left(\frac{R_H-h}{R_O}\right) \quad (2.87)$$

Заменяя в уравнении (2.87) расстояния от центра до описывающих ранее точек в общем виде уравнение можно записать и для точек 1, 2 и 3:

$$x_1 = R_H \arccos\left(\frac{R_H-h}{b_1}\right) - b_1 \sin \arccos\left(\frac{R_H-h}{b_1}\right) \quad (2.88)$$

Где b_1 – ширина одного проделанного прокола в точке 1, м.

Таким образом выработанная нами зависимость, позволит более точно определить расположение точек, формируемых лучеобразными равнобедренными треугольниками фронтального прокалывателя-щелереза при взаимодействии с поверхностью почвы и обеспечит минимум колебаний прокалывающего рабочего органа в процессе проведения полевых работ. В связи с чем предлагаемая форма лучеобразных органов является наиболее приемлемой для применения в нашем случае [12, 105,162,167,172].

2.5 Выводы

Проведенные теоретические исследования по использованию фронтального прокалывателя-щелереза в процессе глубокой обработки почвы в составе комбинированных машинно-тракторных агрегатов (МТА) позволяют сделать следующие выводы:

1. Теоретически обоснованно, что применение фронтального прокальвателя-щелереза предложенной конструкции позволит перераспределить вертикальную нагрузку между мостами колёсного энергетического средства, что повысит тягово-сцепные характеристики трактора;

2. Определенно воздействие динамических параметров фронтального прокальвателя-щелереза на конструкцию трактора в движении и конструктивно-технологические показатели его рабочих органов;

3. Выявлено влияние фронтального прокальвателя-щелереза на тягово-сцепные свойства колёсного энергетического средства в условиях движения по склону.

3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа экспериментальных исследований

Для проверки достоверности теоретических исследований, полученных во второй главе, в программе были поставлены и решены следующие задачи:

- экспериментально установить и проанализировать процесс перераспределения сцепного веса между мостами колёсного трактора при установке и работе предлагаемого устройства;
- выявить влияние конструктивно-технологических параметров предлагаемого устройства на глубину погружения рабочих органов, буксование и скорость движения;
- определить влияние прокалывателя-щелереза в составе почвообрабатывающего агрегата на изменение физико-механических свойств плодородного слоя почвы;
- провести сравнительные хозяйственные испытания трактора К-700А с установленным прокалывателем-щелерезом и бороной БДМ-6х4п.

3.2 Общая методика проведения экспериментальных исследований

Эмпирические исследования проводились в условиях реальной эксплуатации МТА на полевых работах. В целях исследования воздействия экспериментального устройства - фронтального прокалывателя-щелереза на эксплуатационные параметры колёсного энергетического средства за основу взяты методики ГОСТ 7057-2001 «Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний»; ГОСТ 24055-2016, ГОСТ 24059-802017. «Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки»; ГОСТ 30745-2001 «Тракторы сельскохозяйственные. Методы определения тяговых показателей», а также ГОСТы и другие нормативные материалы, относящиеся к методическому обоснованию исследуемых агротехнологических

процессов [43-53]. На основе представленных выше общепринятых методик были разработаны частные методики, способствующие исследованию и определению влияния экспериментального устройства на эксплуатационные и агротехнологические показатели машинно-тракторного агрегата.

3.3 Объекты и условия проведения экспериментальных исследований

Для проведения экспериментальных исследований в качестве объектов взяты:

1. Колёсный трактор типа «Кировец» марки К-700А серийный (рисунок 3.1)
2. Колёсный трактор типа «Кировец» марки К-700А экспериментальный с установленным «Фронтальным прокальвателем-щелерезом» (рисунок 3.2)
3. Дискатор БДМ-6х4п (рисунок 3.3)



Рисунок 3.1 - Колёсный полурамный трактор К-700А



Рисунок 3.2 - Колёсный полурамный трактор К-700А экспериментальный с фронтальным прокалывателем-щелерезом

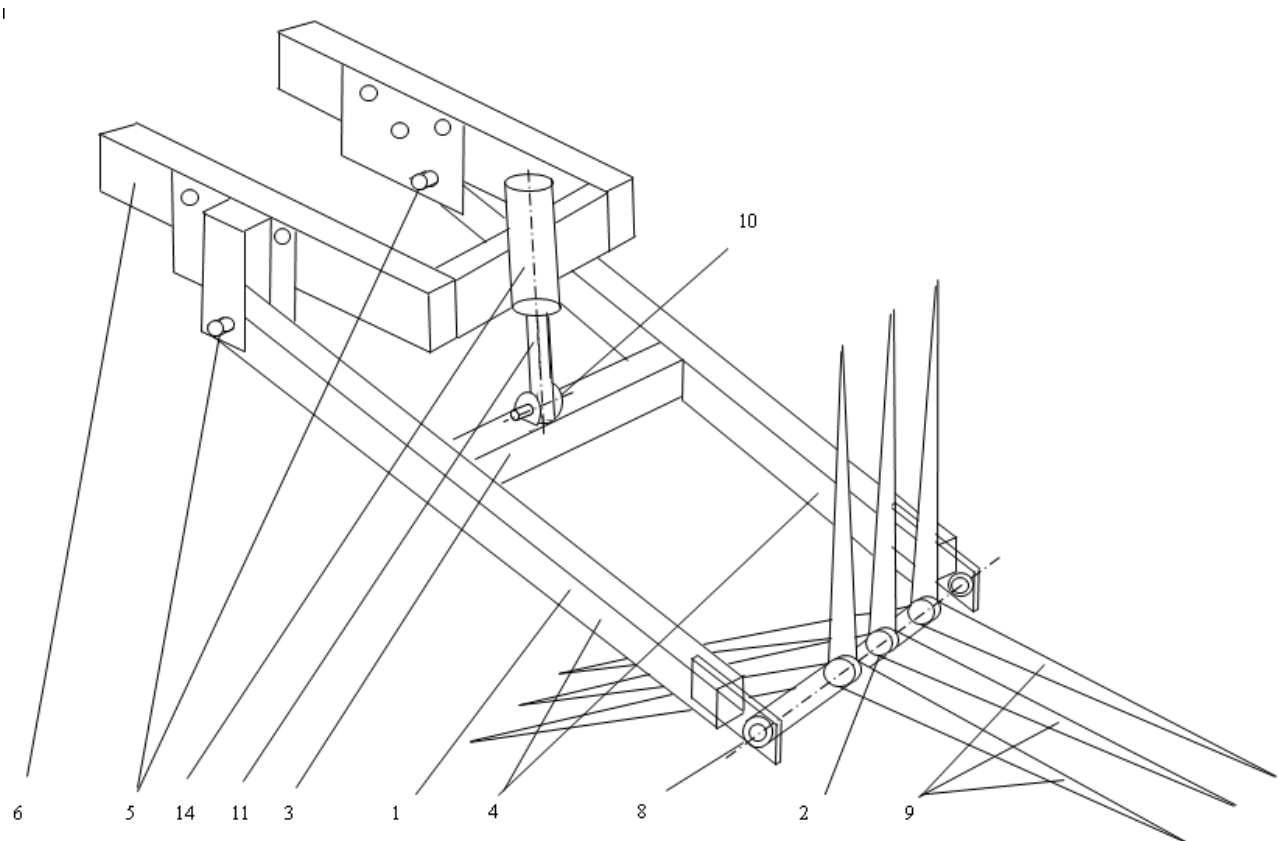


Рисунок 3.3 - Дискатор БДМ-6х4п

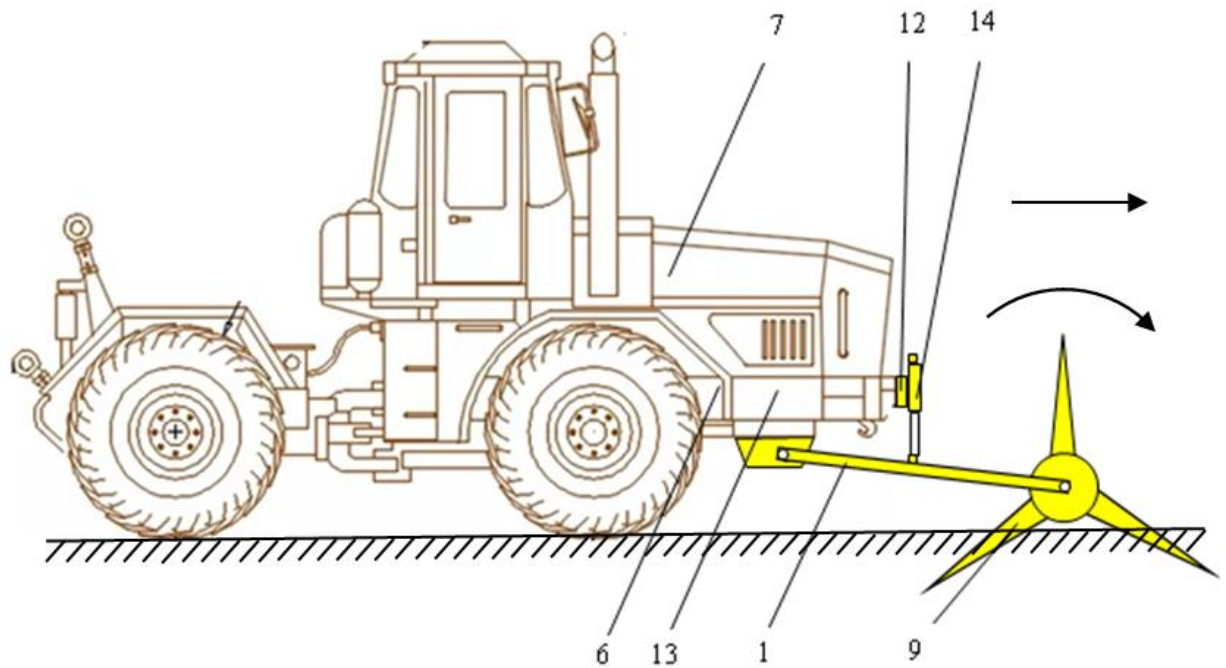
Исходя из физико-климатического расположения Амурской области и обильных осадков в зимний и весенний период на полях региона преобладает сильное переувлажнение верхнего плодородного слоя и наличие твёрдого подстилающего слоя в виде мерзлоты при проведении основных весенних

полевых работ. В целях решения данной проблемы агрономами области проводятся мероприятия по щелеванию и прокалыванию почвы, одновременно с ее подготовкой под посев, для своевременного отведения влаги к нижним подпахотным горизонтам. Существующие на сегодняшний день конструкции имеют один существенный недостаток – высокое тяговое сопротивление при выполнении операции. Проведённый анализ существующих конструкций позволил предложить устройство, которое имеет меньшее сопротивление при обработке и позволяет перераспределить нагрузку (сцепной вес) в конструкции колёсного трактора, а, следовательно, и уменьшить отрицательное техногенное воздействие ходовой системы на почву.

Принципиальная схема предлагаемого устройства (патент РФ на изобретение № 27694493 от 31.03.2022 г.) [130] представлена на рисунках 3.4а и 3.4б.



а) Принципиальная схема устройства – фронтального прокалывателя-щелереза



б) Установочная схема предлагаемого устройства

Рисунок 3.4 - фронтальный прокалыватель-щелерез, где: 1 - пространственная рама, 2 - передняя фронтальная поперечная трубчатая тяга, 3 - нагружающе-поддерживающая поперечная тяга, 4 - продольные трубчатые тяги, 5 - косыночные упоры, 6 - передняя боковая часть передней полурамы трактора, 7 – колёсный трактор (К-700А), 8 - подшипниковые узлы, 9 - лучеобразные прокалывающие рабочие органы, 10 – проушина, 11 - рабочий шток нагружающего гидроцилиндра, 12 - опорный кронштейн, 13 - передний силовой бампер трактора, 14 – нагружающий гидроцилиндр.

Основные конструктивные элементы предлагаемого устройства представлены на рисунках 3.5...3.11



Рисунок 3.5 - Общий вид фронтального прокалывателя-щелереза в сборе



Рисунок 3.6 - Рабочий прокалывающий орган фронтального прокалывателя-щелереза

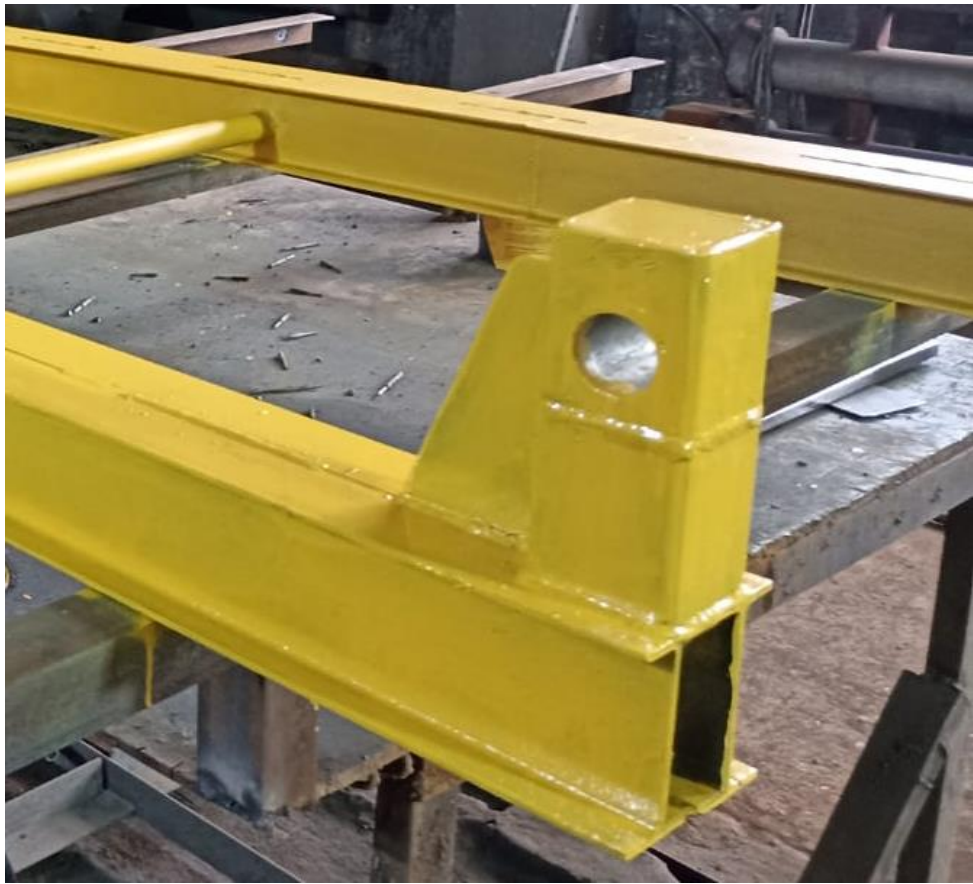


Рисунок 3.7 - Установочный узел для соединения с колёсным трактором



Рисунок 3.8 - Точки крепления конструкции к трактору



Рисунок 3.9 - Нагружающий узел прокалывателя-щелереза



Рисунок 3.10 - Кронштейн крепления гидроцилиндра на трактор



Рисунок 3.11 - Установка кронштейна крепления и гидроцилиндра в нагружающем узле прокалывателя-щелереза

Экспериментальное устройство работает следующим образом (рисунок 3.12):

При въезде на обрабатываемое поле, оператор трактора 7 с помощью нагружающего гидроцилиндра 14 опускает пространственную раму 1 фронтального прокалывателя-щелереза на почвенную поверхность и производит заглубление лучеобразных прокалывающих рабочих органов 9, при этом происходит перераспределение части веса с передних колес трактора на рабочие органы устройства 9.

Далее, в движении, происходит кручение передней фронтальной поперечной трубчатой тяги 2 с лучеобразными прокалывающими рабочими органами 9 в подшипниковых узлах 8, пассивное заглубление органов 9 на глубину, соответствующую длине луча рабочего органа 9 и проворачивание в

почвенном слое, что производит операцию прорезания почвенного слоя, его щелевания, разуплотнения и крошения. При этом глубину обработки можно регулировать увеличением вертикальной нагрузки через нагружающий гидроцилиндр 14.



Рисунок 3.12 – Обработка почвы фронтальным прокальвателем-щелерезом агрегируемым колёсным трактором К-700А

При отсутствии необходимости в применении фронтального прокальвателя-щелереза оператором трактора 7 опускание пространственной рамы фронтального прокальвателя-щелереза на почвенную поверхность и заглубление лучеобразных прокальвающих рабочих органов 9 не производится.

В результате конструктивных особенностей лучеобразных разуплотняющих рабочих органов устройства при их перекачивании и заглублении в почвенный

плодородный слой формируется пунктирная воронкообразная линия разреза почвенного пласта, что позволит отводить излишнюю влагу из прилегающих к разрезу слоёв и увеличить её запасы в подпочвенном слое, таким образом улучшая условия жизнедеятельности растений и повышая их урожайность.

Экспериментальные исследования, в целях установления работоспособности предлагаемого устройства – фронтального прокалывателя-щелереза, проведения анализа процесса перераспределения сцепного веса между мостами колёсного трактора и рабочими элементами предлагаемого устройства, поиска параметров заглубления рабочих органов предлагаемого устройства в зависимости от влажности, твердости и плотности почвенной поверхности, проведены в производственных условиях КФХ «Швецов С.Н.», КФХ «Стукун Р.В.», КФХ «Лысенко А.П.», КФХ «Жуковина С.А.», КФХ «Бондаренко Н.А.» Амурской области в период весенне-летних полевых работ 2023-2024 г.г. (приложение 1). Почва в этих фермерских хозяйствах является типичной для южного района Амурской области, в основном луговые черноземовидные с механическим составом - суглинки средней тяжести. Для проведения исследований выбирались в горизонтальные участки с углом наклона поверхности не более 2-х градусов.

3.4 Средства измерений при проведении полевых испытаний

С целью выявления влияния фронтального прокалывателя-щелереза на тягово-сцепные свойства колёсного трактора в передней фронтальной части энергетического средства было установлено предложенное экспериментальное устройство (рисунок 3.13), которое в процессе эксперимента после прохода трактора формировало пунктирную воронкообразную линию в виде многократных разрезов почвенного пласта, с целью отвода излишней влаги из прилегающих к разрезу слоёв.

При этом во время эксперимента измерялись следующие параметры:

1. Влажность почвы.

2. Плотность почвы.
3. Твердость почвы.
4. Глубина прокалывания почвы.
5. Нагрузка на рабочие прокалывающие органы устройства.
6. Нагрузка на передний и задний мосты трактора.
7. Глубина колеи после прохода трактора.
8. Крюковое усилие трактора и изменение тягового сопротивления агрегата при работе прокалывателя.
9. Скоростные характеристики трактора.
10. Расход топлива при работе экспериментального и серийного трактора.

Измерение вышеназванных параметров осуществлялось с использованием тензометрической аппаратуры по методике, подробно изложенной в работе [103,105].



Рисунок 3.13 – Установка на трактор К-700А фронтального прокалывателя-щелереза

3.4.1 Определение влажности почвы

Для определения влажности почвы использовался цифровой влагомер «PMS-710» с глубиной погружного элемента в почву до 40 см (рисунок 3.14).



Рисунок 3.14 - Измерение влажности почвы с помощью влагомера и фиксацией полученных параметров.

Измерение осуществлялось попеременно в слоях почвы по глубине от 5 до 40 см, с пятикратной повторностью через каждые 10 м движения трактора, полученные данные сводились в таблицу и регистрировались методом фотофиксации. Основные технические характеристики применяемого прибора приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Основные технические характеристики влагомера PMS-710

Пределы измерения	0-50%
Разрешение	0,1
Точность	$\pm 2\%$
Источник питания	Батарея 4x1,5 размера AAA (UM-4)
Условия эксплуатации:	
Температура	0-60°C
Влажность	5-90%
Вес	210 г (не включая батареи)

3.4.2 Определение плотности почвы

Определение плотности осуществлялось статическим зондированием, вдавливанием в почву специального зонда с заданной силой по ГОСТ 5180-2015.

Для определения плотности были взяты 10 проб срезанной земли на глубине до 15 см до и после прохода серийного и экспериментального трактора (рисунок 3.15).



Рисунок 3.15 – Определение плотности почвы

Для расчета использовалась методика по ГОСТ 5180-2015 «Методы лабораторного определения физических характеристик» для определения плотности грунта почвы которая рассчитывалась по формуле:

$$\rho = m_0/V, \quad (3.1)$$

Где, m_0 – масса высушенного грунта, г;

V – внутренний объем режущего кольца, см³.

3.4.3 Определение твердости почвы

Проверка твердости почвы проводилась с использованием цифрового измерителя твердости грунта TYD-2 с длиной погружного элемента 40 см. (рисунок 3.16).



Рисунок 3.16 – Определение твердости почвы

Основные технические характеристики цифрового твердомера TYD-2 представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Основные технические характеристики цифрового твердомера TYD-2

Максимальная нагрузка	100 кг
Глубина измерения	0-400 мм
Точность	$\pm 0,5\%$
Разрешение	0,1 кг
Источник питания	Зарядный источник питания: 220 В
Диапазон калибровки	Полномасштабная автоматическая калибровка
Источник питания	Никель-цианидная аккумуляторная батарея / 220 В
Заряд	4-6 часов

Таким образом предлагаемый прибор обладает должной точностью и способен провести соответствующие плану испытаний измерения.

Измерения проводились помощью предлагаемого прибора TYD-2 через каждые пять метров пути методом прокалывания грунта в произвольных точках до прохода агрегата, в центре следа после прохода экспериментального и серийного трактора с агрегируемыми сельскохозяйственными орудиями и фиксацией измерений во внутренней памяти фиксирующего устройства, а также полевом журнале.

3.4.4 Определение глубины прокалывания почвенного слоя фронтальным прокалывателем-щелерезом

В ходе проведения опытов теоретическая глубина прореза почвы должна достигать 0,45 м, при расстоянии между проколами в 0,38 м (рисунки 3.17-3.18). Профиль, угол и глубина разреза фиксировалась 2-ух осевыми инклинометрами, транспортиром и металлическими линейками, рисунок 3.17.



Рисунок 3.17 – Измерение глубины и профиля резания одним рабочим органом



Рисунок 3.18 – Определение расстояния между проколами

3.4.5 Определение нагрузки на рабочие органы устройства, передний и задний мосты трактора

При определении нагрузки на рабочие органы устройства, передний и задний мосты трактора использовались весы платформенные электронные марки МВСК(В) (рисунок 3.19). Этот измерительный прибор внесен в Государственный реестр средств измерений и проходит регулярную поверку.



Рисунок 3.19.- Общий вид используемого весового оборудования

Основные технические характеристики весов платформенных электронных МВСК(В) представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Основные технические характеристики весов платформенных электронных МВСК(В)

Наибольший предел взвешивания (НПВ), т	3	5	10	15	20	30
Наименьший предел взвешивания (НмПВ-20 с), т		0,04	0,1	0,1	0,2	0,2
Класс точности по ГОСТ 29329	Средний III					
Дискретность отсчета (d) и цена поверочного деления (с), d=c, кг		2	5	5	10	10
Пределы допускаемой погрешности при первичной поверке весов, кг:						
От НмПВ до 500 с включ.		±2	±5	±5	±10	±10
Св. 500 с до 2000 с включ.		±2	±5	±5	±10	±10
Св. 2000 с		±4		±10		±20
Пределы допускаемой погрешности при периодической поверке весов, кг:						
От НмПВ до 500 с включ.		±2	±5	±5	±10	±10
Св. 500 с до 2000 с включ.		±4	±10	±10	±20	±20
Св. 2000 с		±6		±15		±30
Время установления показаний весов не более, с	5					
Потребляемая мощность не более, ВА	50					
Питание весов от сети переменного тока напряжением, В	220 (+22;-33)					
Частотой, Гц	50 (±1)					
Габаритные размеры ГПУ весов, мм	550x750					
Вероятность безотказной работы за 2000 часов	0,95					
Средний срок службы, лет	не менее 12					
Диапазон рабочих температур эксплуатации весов, °С	от -30 до +50					
Диапазон рабочих температур эксплуатации весового терминала, °С	от +5 до +40					
Относительная влажность окружающего воздуха при температуре 35 °С, %	до 80					

Чувствительность весов составляет

1,4 с

Непостоянство показаний ненагруженных весов

не более 1 с

Независимость показаний весов от положения груза на грузоприемном устройстве при первичной и периодической поверке

1 с

Питание электрооборудования весов осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В или от аккумуляторной батареи 6 В

4 Ач (опционально)

Средняя наработка на отказ

не менее 2500 часов

За отказ принимается поломка весов, делающая невозможной их дальнейшую эксплуатацию или отклонение метрологических характеристик от паспортных, не поддающихся устранению

за 4 часа

При проведении эксперимента экспериментальный трактор устанавливался на ровную площадку с уклоном не более $0,3^{\circ}$, рисунок 3.20.



Рисунок 3.20 - Выбор весоизмерительной площадки и установка трактора при помощи инклинометра Absolute Digital Protractor

Для измерения продольно–поперечного угла наклона использовался инклинометр Absolute Digital Protractor, основные характеристики которого представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Основные технические характеристики инклинометра Absolute Digital Protractor

Точность	0° и $90^{\circ} \leq 0,1^{\circ}$, остальные значения $\leq 0,2^{\circ}$
Разрешение	$0,05^{\circ}$
Рабочий диапазон	$^{\circ}$: $4 \times 90^{\circ}$, мм/м: 1000 мм/м, %: 100%, дюйм/фут: 12 дюйм/фут
Источник питания	2xAAA щелочные батареи
Рабочая температура	От 32°F до 104°F (от 0°C до 40°C)
Рабочая влажность	$\leq 85\%$
Степень защиты	IP65

При проведении исследований весовое оборудование попеременно устанавливалось под прокалывающим органом (рисунок 3.21), передним мостом (рисунок 3.22) и задним мостом (рисунок 3.23) трактора.



Рисунок 3.21 - Измерение нагрузки на прокалывающий орган



Рисунок 3.22 - Измерение нагрузки на передний мост трактора



Рисунок 3.23 - Измерение нагрузки на задний мост трактора

Фиксация измеряемых параметров осуществлялась бортовым регистрирующим устройством, рисунок 3.24 и фиксировалось в полевом журнале.



Рисунок 3.24 - Бортовое регистрирующее устройство МВСК (В)

Применение весоизмерительного комплекса позволило определить показатели перераспределения вертикальной нагрузки между мостами трактора и прокальвателем во всех эксплуатационных режимах использования агрегата.

3.4.6 Измерение глубины колеи трактора

Как известно, глубина колеи до и после прохода агрегата позволяет сделать вывод о величине его техногенного воздействия на почву. Учитывая, что установка предлагаемого прокальвателя-щелевателя позволяет перераспределить нагрузку с ходовой системы на рабочие органы прокальвателя, таким образом разгрузив колёсные движители, обоснованно будет предположить, что техногенное воздействие экспериментального агрегата окажется ниже в сравнении с серийным. Для чего были проведены измерения глубины колеи в идентичных условиях для экспериментального, рисунок 3.25, и серийного трактора, рисунок 3.26.



Рисунок 3.25 - Измерение глубины колеи экспериментального трактора



Рисунок 3.26 - Измерение глубины колеи серийного трактора

3.4.7 Определение тягового усилия колёсного трактора

С целью выявления влияния фронтального прокалывателя-щелереза на тягово-сцепные свойства колёсного энергетического средства в реальных условиях эксплуатации, были проведены сравнительные тяговые испытания. При этом измерялись следующие параметры:

- тяговое усилие экспериментального колёсного энергетического средства с навешанным фронтально прокалывателем-щелерезом в работе и транспортном положении с прицепным устройством в виде колёсного полурамного погрузчика массой 7730 кг, рисунок 3.27;

- частота вращения ведущих колёс энергетического средства, пройденный путь (для определения рабочей скорости и буксования колёсного движителя), время опыта и рабочая скорость колёсного энергетического средства с агрегируемыми устройствами в ходе проведения полевых работ - прибор MAGENE C406 Pro, рисунки 3.27- 3.29.



Рисунок 3.27 - Колёсный полурамный погрузчик



Рисунок 3.28 - Приборы для измерения частоты вращения ведущих колес, пройденного пути, времени опыта и рабочей скорости К-700А



Рисунок 3.29 – Комплекс MAGENE C406 Pro для измерения пройденного расстояния, времени движения, скорости движения и частоты вращения ведущих колес энергетического средства

Измерение вышесказанных параметров осуществлялось при помощи тензометрической аппаратуры в составе приборно-регистрационного комплекса, состоящего из тензометрического звена в комплекте с измерительно-регистрирующим блоком (рисунок 3.30).



Рисунок 3.30 – Определение тягового усилия экспериментального колёсного трактора К-700А с навешанным устройством

3.4.8 Определение расхода топлива при работе экспериментального трактора

Расход топлива измерялся контроллером расхода топлива ZJ-LCD-M с сенсором US211M модели OF 052AT, который был подключен к топливной системе экспериментального трактора с навешанным фронтально устройством (рисунок 3.31).



Рисунок 3.31 – Установка датчиков и сенсоров на экспериментальном энергетическом средстве

В ходе эксплуатации машинно-тракторного агрегата показания по расходу топлива фиксировались в памяти контроллера расхода топлива ZJ-LCD-M и выводились на лицевую панель прибора.

3.5 Методика математической обработки экспериментальных данных

3.5.1 Оценка точности измерений

В результате проведения экспериментальных исследований в полевых условиях часто встречаются ряд ошибок, которые в основном складываются из трёх основных:

- случайные;
- систематические;
- грубые.

В процессе обработки полученных результатов эксперимента и обосновании выводов необходимо обращать внимание лишь на те результаты исследований, в которых не содержатся грубые и систематические ошибки.

В результате анализа и обработке полученных экспериментальных данных учитывалась относительная суммарная погрешность. Так, например, при определении нагрузки на прокалывающий рабочий орган фронтального прокалывателя-щелереза суммарная погрешность состоит из следующих параметров [6,58,61,66,110]

$$P = P_{\text{сп}} + P_{\text{нп}} + P_{\text{п}} + P_{\text{об}} , \quad (3.2)$$

где $P_{\text{сп}}$ - относительная погрешность допущенная при снятии показателей; $P_{\text{нп}}$ - относительная погрешность при установки прибора на неровной поверхности; $P_{\text{п}}$ - относительная погрешность используемого прибора; $P_{\text{об}}$ - относительная погрешность при обработки данных. Аналогично находились погрешности и при определении других характеристик исследования, представленных в таблице 3.5.

Таблица 3.5 - Суммарные относительные ошибки прямых и косвенных измерений

Показатель, ед. изм.	Относительная ошибка, %
Влажность почвы, кг/м ³	3,6...4,2
Плотность почвы, кг/м ³	4,2...4,4

Твёрдость почвы, Мпа	4,1...4,3
Нагрузка на рабочий орган (щелеватель), кгм	4,2...4,4
Нагрузка на движитель энергетического средства, кгм	3,2...3,6

3.5.2 Статистическая обработка экспериментальных данных

Для вычисления математических данных исследований случайных величин берутся за основу выборочное среднее значение и дисперсия [6,58,61,66,110]. При определении точных и надежных данных математического ожидания используется доверительный интервал, соответствующий определенной надежности

$$P\left(\bar{X} - t_s \frac{s}{\sqrt{n}} < m < \bar{X} + t_s \frac{s}{\sqrt{n}}\right) = 1 - \alpha, \quad (3.3)$$

где m – математическое ожидание; P – надежность исследования ($P = 95\%$); α – доверительная вероятность ($\alpha = 5\%$); t_s – коэффициент Стьюдента.

При этом относительная погрешность результата измерений отдельных параметров исследований находится из выражения [6,58,61,66,110]

$$\varepsilon_x = \frac{t_s S}{x}, \quad (3.4)$$

где S – среднеквадратическое отклонение.

А доверительный интервал для оценки выборочной дисперсии нормального распределения находится из уравнения

$$\frac{s^2(n-1)}{X_1^2} < G_x^2 < \frac{s^2(n-1)}{X_2^2}, \quad (3.5)$$

где X_1^2, X_2^2 – табличные значения величин, соответствующих вероятностям.

$$P_1 = \frac{\alpha}{2}, \quad P_2 = 1 - \frac{\alpha}{2}. \quad (3.6)$$

Однородность дисперсий можно также проверить по характеристикам, которые вычисляются из уравнения [36,38,49,50,79]

$$G = \frac{S_{\max}^2}{S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_m^2}, \quad (3.7)$$

где S_{\max} – максимальная дисперсия из S_1^2, S_2^2, S_m^2 .

Полученный результат сравнивался с табличными данными полученными в ранее проводимых исследованиях. Для оценки экспериментальных нелинейных зависимостей использовалась полиномиальная модель n -го порядка с одной независимой переменной [6,58,61,66,110]

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \dots + \beta_m x^m + \varepsilon, \quad (3.8)$$

где $\beta_{0,1,2..m}$ – неизвестные коэффициенты модели; ε – случайная ошибка.

Исходя из того, что значения равнозначные, получим

$$Y_0 = B_0 P_{n(x)}^{(0)} + B_1 P_{n(x)}^{(1)} + B_2 P_{n(x)}^{(2)} + \dots + B_m P_{n(x)}^{(m)} + \varepsilon, \quad (3.9)$$

где $P_{n(x_i)}^\alpha$ – ортогональные многочлены Чебышева, которые находятся по выражению [99] и имеют вид

$$B_i = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i P_{n(x_i)}^{(j)}}{\sum_{i=1}^n \left[P_{n(x_i)}^{(j)} \right]}, \quad (3.10)$$

где Y_i – результат измерения.

Оценки дисперсий для коэффициентов вычисляются по формуле [99]

$$S_j^2 = \frac{G^2}{\sum_{i=1}^n \left[P_{n(x_i)}^{(j)} \right]^2}, \quad (3.11)$$

где G^2 – дисперсия, которая оценивается на основе данных таблицы дисперсионного анализа.

3.6 Выводы по главе

Материалы, приведённые в главе позволили сформулировать следующие заключения и выводы:

1. Выделены объекты и сформированы задачи исследования, обоснована общая методика проведения экспериментальных и сравнительно-хозяйственных исследований.

2. Проведена сборка экспериментальной конструкции и её установка на энергетическое средство.

3. Обоснованы модельный ряд и технические характеристики подобранного приборного комплекса, который позволяет провести углублённые экспериментальные исследования и получить практические результаты высокой точности, способствующие оптимальному набору информации в реальных условиях производственной эксплуатации и данных для последующей математической обработки.

4. Для получения последующего доказательного материала, свидетельствующего об эффективности предложенной конструкции, необходимо экспериментальное проведение сравнительных хозяйственных испытаний и внедрение конструкции в производство.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты экспериментальных исследований по влиянию трактора с фронтальным прокальвателем-щелерезом на физико-механические свойства почвы

Для выявления и определения параметров зависимостей, возникающих при воздействии фронтального прокальвателя-щелереза на колёсный трактор К-700А, его тяговые и скоростные характеристики, процессы перераспределения сцепного веса между мостами колёсного трактора и рабочими элементами предлагаемого устройства, общую эффективность предлагаемого агрегата, в весенне-летний период 2024 года были проведены сравнительно-хозяйственные испытания на базе КФХ «Швецов С.Н.» (п. Сергеевка, Благовещенского округа) в производственных условиях на обрабатываемых полях с лугово-черноземновидной почвой, уклоном рельефа до 2⁰, механический состав почв-типичный для Амурской области.

Одним из параметров характеризующих физико-механические свойства почвы является влажность. Этот параметр особенно важен, когда имеется твердый глинистый подстилающий слой, не позволяющий проникать избыточной влаге в глубину почвенной структуры.

4.1.1 Результаты распределения влажности почвы по глубине

При определении распределения влажности почвы по глубине использовали цифровой влагомер «PMS-710». Фрагмент определения влажности представлен на рисунке 4.1.

Результаты исследований по распределению влажности почвы по глубине представлены в таблице 4.1 и на рисунке 4.2.



Рисунок 4.1 – Фрагмент исследований по определению влажности почвы

Таблица 4.1 -Результаты экспериментальных данных по определению влажности почвы в зависимости от глубины

Глубина измерения влажности почвы, м	Влажность почвы, %
0,05	10,3-10,7
0,10	12,0-14,5
0,15	15,2-18,7
0,20	19,1-25,0
0,25	26,1-34,2
0,30	35,9-39,0
0,35	37,2-40,5
0,40	39,1-42,7
0,45	40,4-44,1

Результаты проведенных исследований (таблица 4.1 и рисунок 4.2) свидетельствуют о неравномерности распределения влаги по глубине плодородного слоя. неравномерности распределения влаги по глубине плодородного слоя. При этом наиболее влажный слой параметрами превышения от 26,1% от нормальной влажности для почвенных условий Амурской области наблюдается уже на глубине в 0,25 м.

Полученные результаты могут быть описаны полиномиальным уравнением

$$y=-42,814x^2+108,91x+2,3071 \quad (4.1)$$

при коэффициенте аппроксимации $R^2=0,9528$

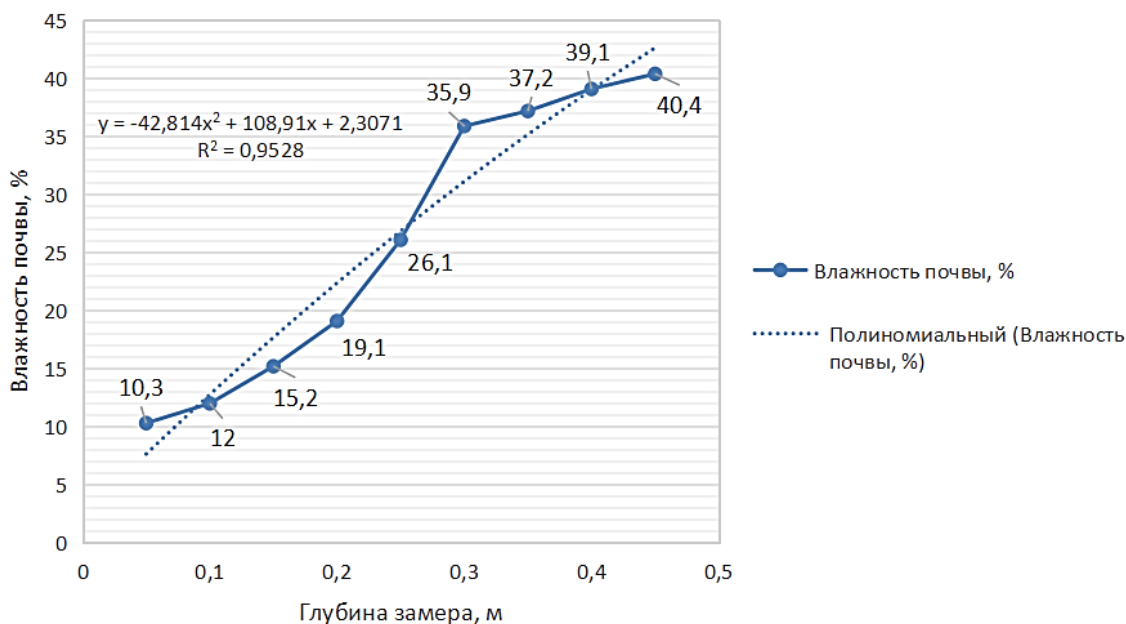


Рисунок 4.2 – Зависимость влажности почвы от глубины

Таким образом процесс отведения подпочвенной влаги, находящейся над глинистым основанием, залегающем на глубине 0,35-0,40 м, представляется необходимым для обеспечения нормального произрастания культурных растений. В этом случае предусмотрена такая операция как щелевание почвы, позволяющая решить выше обозначенную проблему. Используемые в настоящее время для этих целей сельскохозяйственные орудия предусматривают эту операцию как отдельно составляющую технологического процесса, что в конечном итоге влияет на стоимость единицы произведённой продукции. В связи с этим нами предлагается устройство [130] позволяющая совмещать эту операцию с другими полевыми операциями.

4.1.2 Определение плотности почвы

Плотность почвы во время исследования определяли по методике ГОСТ 5180-2015 «Методы лабораторного определения физических характеристик». Пробы грунта брались (рисунок 4.3) в трёх состояниях: до прохода трактора, после прохода серийного трактора, после прохода

экспериментального трактора с распределением точек забора материалов по ширине следа трактора [11,33].



Рисунок 4.3 – Фрагмент взятия пробы грунта для определения плотности и влажности почвы

Полученные экспериментальные данные представлены в таблице 4.2. и на рисунке 4.4

Таблица 4.2 – Результаты экспериментальных данных по определению плотности почвы

Количество измерений	Масса грунта с режущим кольцом, m_1 , Г	Масса режущего кольца m_0 , Г	Масса высушенного грунта, m_2 , Г	Внутренний объем режущего кольца V , см ³	Плотность грунта почвы ρ , г/см ³
Поле, подготовленное под посев					
1	1556,140	552	918,347	758,964	1,21
2	1556,027	552	918,013	758,964	1,22
3	1555,011	552	917,100	758,964	1,22
4	1555,015	552	916,011	758,964	1,23
5	1556,123	552	918,144	758,964	1,22
Усреднённый показатель	1555,663	552	917,523	758,964	1,22
После прохода серийного колёсного трактора К-700А					
1	1555,240	552	910,397	758,964	1,25

2	1555,147	552	909,601	758,964	1,26
3	1556,105	552	911,262	758,964	1,25
4	1556,077	552	910,531	758,964	1,26
5	1556,196	552	910,650	758,964	1,26
Усреднённый показатель	1555,753	552	910,207	758,964	1,25
После прохода колёсного трактора К-700А с агрегируемым фронтальным прокалывателем-щелерезом					
1	1555,273	552	916,214	758,964	1,23
2	1556,012	552	916,022	758,964	1,25
3	1556,105	552	916,458	758,964	1,24
4	1556,101	552	916,087	758,964	1,25
5	1556,127	552	916,152	758,964	1,25
Усреднённый показатель	1555,923	552	916,186	758,964	1,24

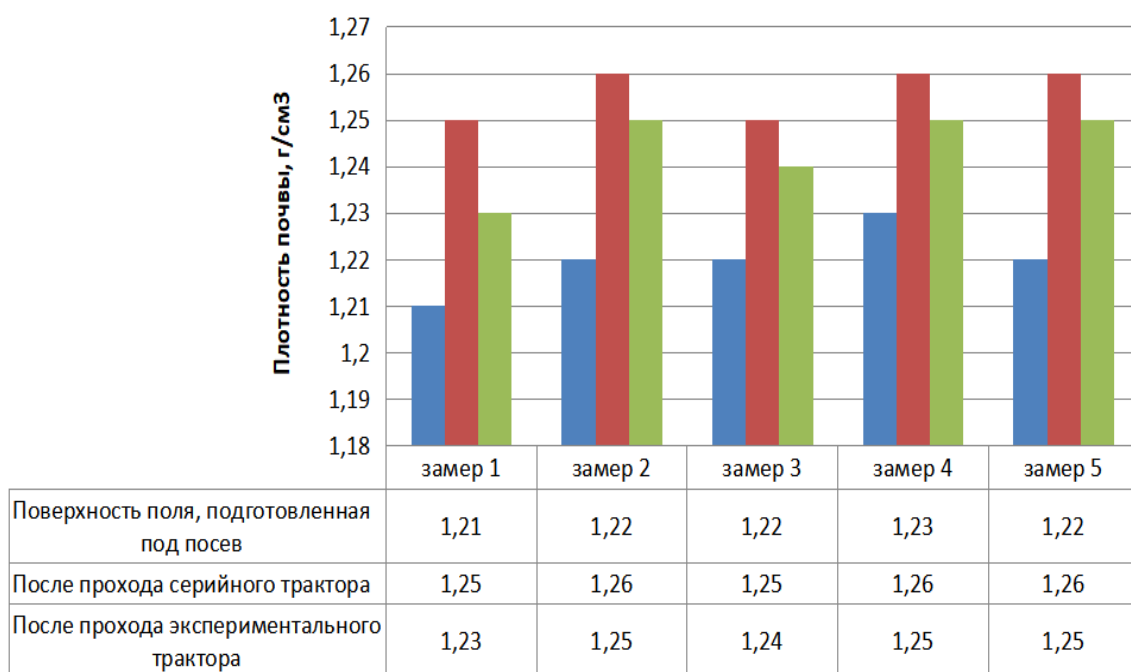


Рисунок 4.4 – Результаты экспериментальных данных по определению плотности почвы

На основании полученных данных (таблица 4.2 и рисунок 4.4) установлено, что плотность почвы в обрабатываемом горизонте 0,15 м у экспериментального трактора ниже, чем у серийного на 7 %.

4.1.3 Определение твердости почвы

Твердость почвы определяли с помощью цифрового измерителя твердости почвы TYD-2 (рисунок 4.5).



Рисунок 4.5 – Фрагмент исследований по определению твердости почвы

Усреднённые результаты исследований представлены в таблице 4.3 и в виде диаграммы на рисунке 4.6 [183].

Таблица 4.3 - Результаты экспериментов по определению твердости почвы

Глубина измерения, м	Результат измерений, МПа
На подготовленной к посеву поверхности поля	
0,05	34,4
0,1	39,4
0,2	45,9
0,3	46,3
0,4	48,2
После прохода серийного колёсного трактора К-700А	
0,05	58,6
0,1	63,5
0,2	68,5
0,3	66,2
0,4	61,5
После прохода колёсного трактора К-700А с агрегируемым фронтальным прокальвателем-щелерезом	
0,05	55,0
0,1	59,5
0,2	63,2
0,3	62,1
0,4	59,2

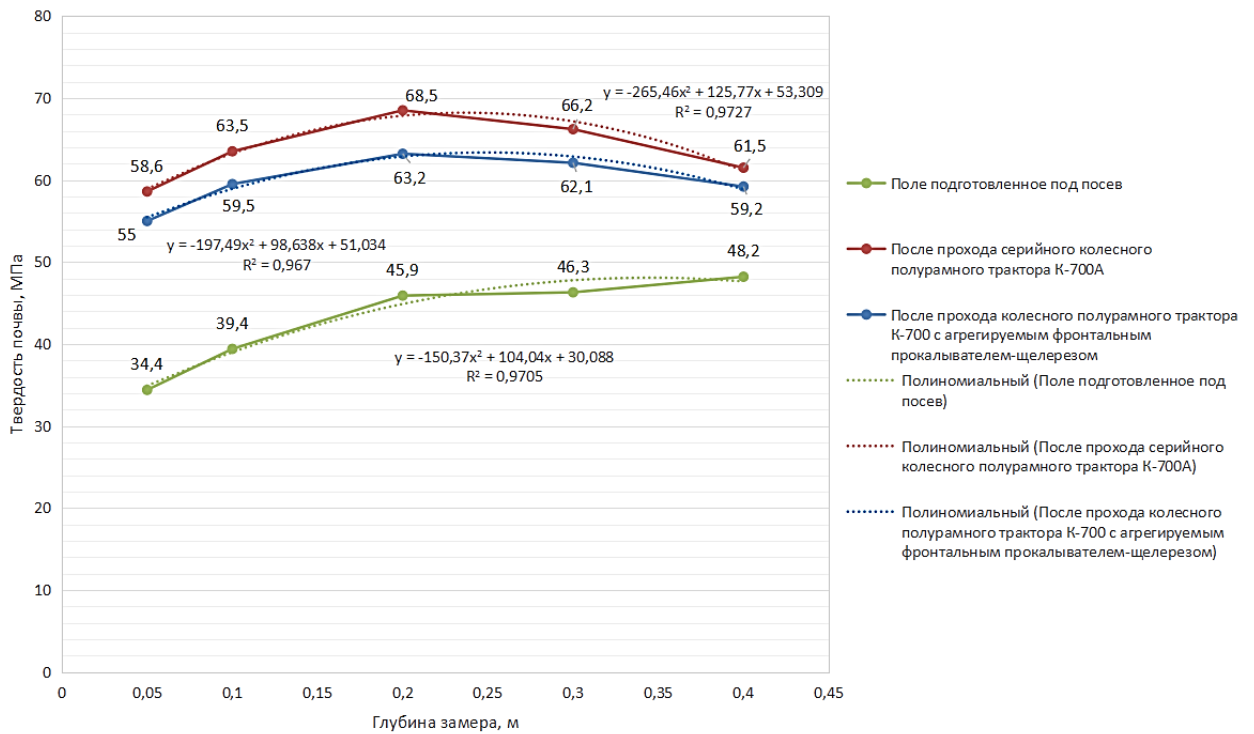


Рисунок 4.6 – Результаты экспериментальных данных по определению твёрдости ПЧВЫ

Полученные результаты могут быть описаны полиномиальными уравнениями

а) На поле, подготовленном под посев

$$y = -150,37x^2 + 104,04x + 30,088 \quad (4.2)$$

при коэффициенте аппроксимации $R^2=0,9705$

б) После прохода серийного колёсного трактора К-700А

$$y = -265,46x^2 + 125,77x + 53,309 \quad (4.3)$$

при коэффициенте аппроксимации $R^2=0,9727$

в) После прохода колёсного трактора К-700А с агрегируемым фронтальным прокальвателем-щелерезом

$$y = -197,49x^2 + 98,638x + 51,034 \quad (4.4)$$

при коэффициенте аппроксимации $R^2=0,967$

Полученные экспериментальные данные (таблица 4.3 и рисунок 4.6) показали что твёрдость почвы после прохода экспериментального агрегата на 6,07 % ниже по сравнению с проходом ходовой системы серийного трактора.

4.1.4 Определение глубины колеи после прохода серийного и экспериментального агрегата

Экспериментальные исследования проводились на ровном, обработанном бороновальным орудием участке, подготовленном под посев, с уклоном в пределах 2° (рисунок 4.7). В ходе опыта оператор трактора осуществлял заглабление устройства переменнo от минимально допустимой до максимально возможной глубины в зависимости от длины выхода штока нагружающего гидроцилиндра и скоростных характеристик трактора.



Рисунок 4.7 – Фрагмент измерения глубины колеи трактора после его прохода по полю

Измерения осуществлялись после каждого прохода экспериментального и серийного трактора с фиксацией результатов в полевом журнале. Усреднённые результаты экспериментальных данных представлены на рисунке 4.8.

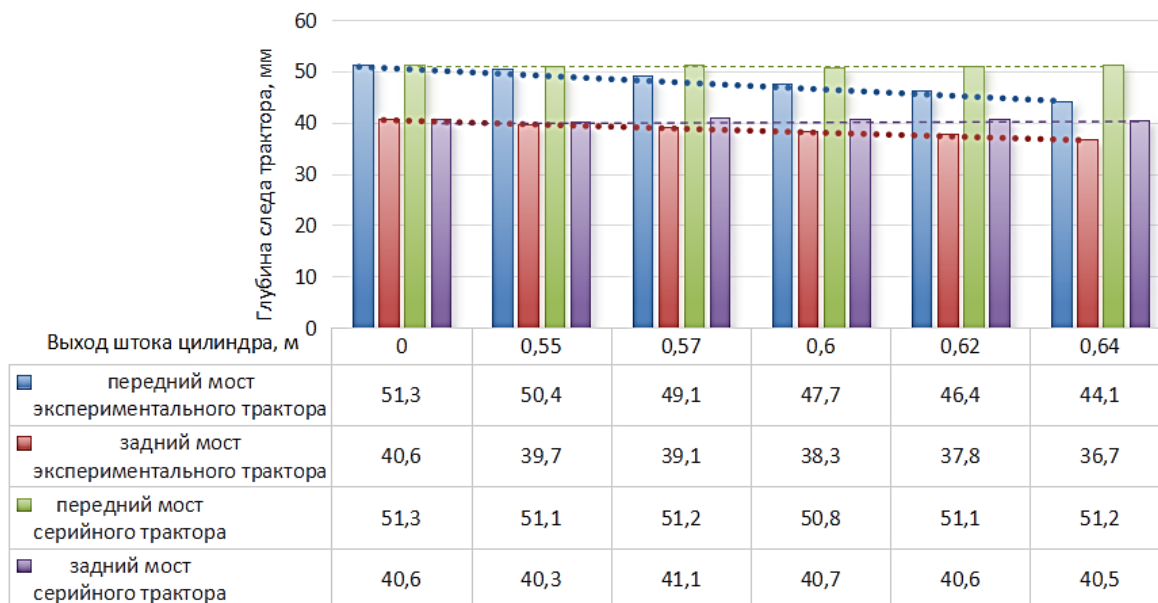


Рисунок 4.8 -Зависимость глубины колеи от выхода штока гидроцилиндра

В результате проведенных исследований (рисунок 4.8) установлено, что использование предлагаемого устройства позволило снизить глубину колеи: для переднего моста от 1,8 % до 14,1 %, для заднего моста - от 2,2 % до 9,6 % по сравнению с серийным трактором в зависимости от длины выхода штока гидроцилиндра.

В общем случае результаты экспериментальных исследований по определению влияния ходовой системы трактора на физико-механические свойства почвы показали, что ходовая система экспериментального трактора обладает меньшим техногенным воздействием на плодородный слой по сравнению с серийным, что объясняется перераспределением сцепного веса.

4.2 Определение глубины прокалывания почвенного слоя фронтальным прокалывателем-щелерезом

Экспериментальные исследования проводили как в стационарном положении трактора, так и в движении в двух вариантах:

- с различным выходом рабочего штока гидроцилиндра в параметрах 0-0,64 м;

- с различным углом наклона рамы в рабочем положении от -5 до -12 градусов.

Для стационарного положения колёсный трактор К-700А с навешанным фронтально прокальвателем-щелерезом устанавливали на ровную поверхность с углом наклона менее 2-х градусов (средний условный уклон полей Амурской и Зейско-Буреинской равнины) (рисунок 4.9).



Рисунок 4.9 – Фрагмент подготовки трактора к проведению исследований

В результате проведенного эксперимента (рисунки 4.10 и 4.11) получена зависимость глубины следа прокальвания почвы от длины выхода рабочего штока гидроцилиндра, приведенная на рисунке 4.10.

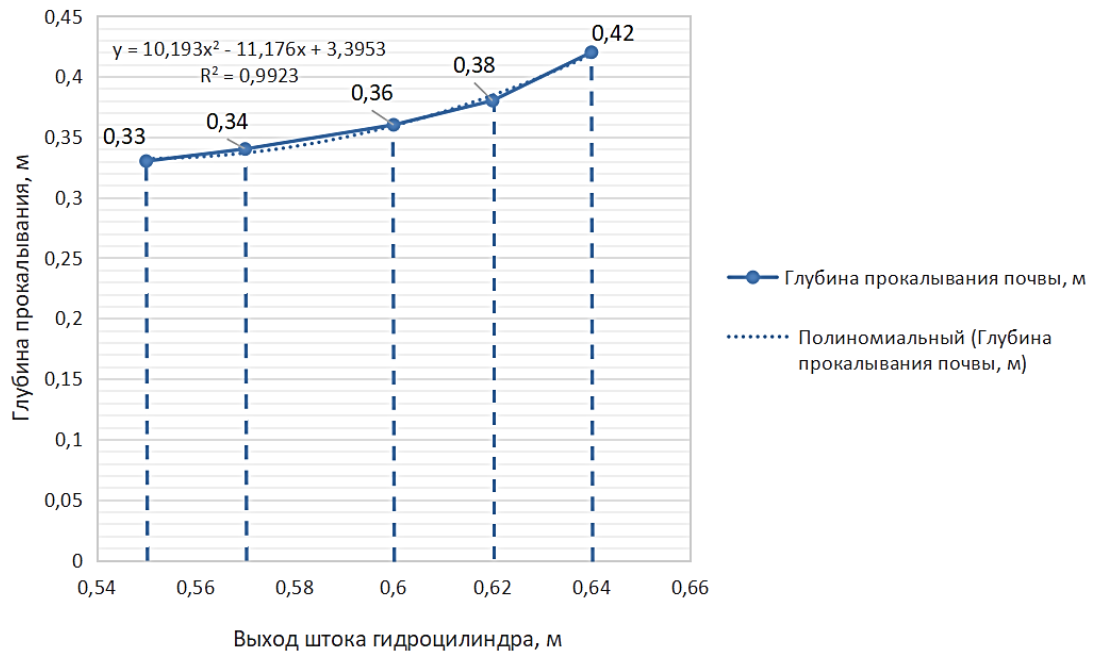


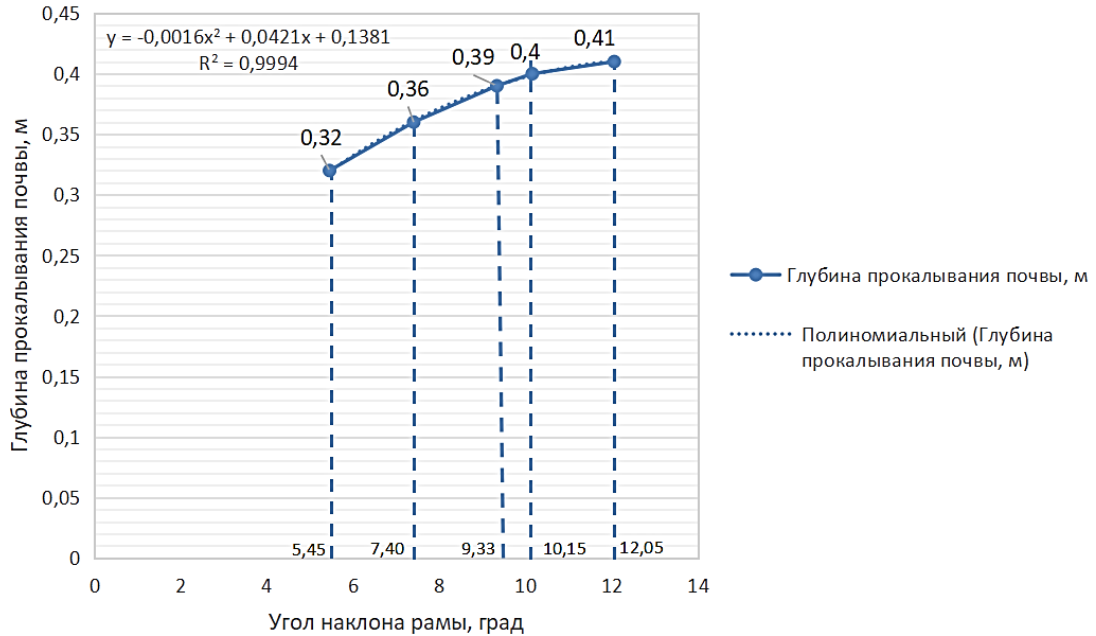
Рисунок 4.10 - Зависимость глубины прокалывания почвы от длины выхода штока гидроцилиндра



Рисунок 4.11 – Фрагмент измерения глубины прокалывания почвы

Анализируя рисунок 4.10 можно отметить, что с увеличением длины выхода штока гидроцилиндра с 0,55 м до 0,64 м, глубина прокалывания почвы возросла с 0,33 м до 0,42 м. Это позволит уменьшить влажность подпахотного слоя почвы и создать оптимальные условия для произрастания растений.

Аналогичные данные получены и при изменении угла наклона рамы в рабочем положении устройства (рисунки 4.12 и 4.13).



4.12 - Зависимость глубины прокалывания почвы от угла наклона рамы



Рисунок 4.13 - Фрагмент измерения глубины прокалывания при изменении угла наклона рамы.

В результате проведенных исследований установлено, что при увеличении угла наклона рамы с 5,45 градусов до 12,05 градусов, произошло увеличение глубины прокалывания на 28,1 %.

Как показали проведенные исследования, использование данного устройства в технологии полевых работ позволяет провести качественное щелевание почвы по глубине плодородного слоя до 0,45 м. Учитывая, что в работе обычных щелевателей происходит одновременное рыхление почвенного слоя, что при большой влажности и наличии глинистого основания влечёт довольно быстрое затягивание прокола почвой, при работе предлагаемого лучеобразного прокалывающего органа происходит одновременное уплотнение стенок прокола, позволяющее сохранить форму прокола в течении вегетационного периода роста растений

Одной из характерных особенностей использования энергетических средств шарнирно-сочленённой рамой является то, что основная нагрузка приходится на передний мост, что негативно сказывается на физико-механических свойствах почвы. В связи с чем представляет определённый интерес рассмотрение процесса влияния предлагаемого прокалывателя-щелереза на распределение нагрузки по мостам трактора.

4.3 Результаты экспериментальных исследований по определению влияния прокалывателя-щелереза на перераспределения нагрузки между мостами трактора

Теоретические расчеты проведенные во второй главе показывают, что глубина прокалывания почвенного слоя при использовании энергетического средства с фронтальным прокалывателем-щелерезом будет зависеть от силы, действующей через нагружающий гидроцилиндр на раму перспективной конструкции и набегающего воздействия ходовой системы трактора при выполнении работ. При этом вертикальная нагрузка, передаваемая на задний мост колёсного энергетического средства, полученная при перераспределении сцепного веса между осями, качественно увеличит тягово-сцепные характеристики трактора, повысит его проходимость и снизит техногенное

воздействие ходовой системы на обрабатываемый плодородный слой [146,147,148,172,201,203].

С этой целью были проведены экспериментальные исследования по определению параметров нагружающего воздействия гидроцилиндра на раму устройства и перераспределение вертикальной нагрузки между мостами колёсного энергетического средства.

Для чего колёсный трактор К-700А с навешанным фронтально устройством – прокальвателем-щелерезом установили на ранее выбранную ровную твердую площадку, выбранную методом инклинометрирования. Под прокальывающими элементами устройства установили весоизмерительный комплекс и произвели нагружение гидроцилиндром с фиксацией максимальных показателей, рисунок 4.14.



Рисунок 4.14 – Измерение вертикальной нагрузки на рабочие органы прокальвателя-щелереза

При этом максимальные показатели составили:

- давление в нагружающем гидроцилиндре - 16 МПа;
- нагрузка на прокальывающий орган - 12,9 кН;
- выход штока гидроцилиндра - 0,64 м;
- угол наклона рамы от $5,45^{\circ}$ до $12,05^{\circ}$.

Для измерения нагрузки на движитель колёсного энергетического средства под передние и задние колеса трактора установили весы МВСК (В) с пределом взвешивания 10 т (рисунок 4.15).



Рисунок 4.15 – Измерение вертикальной нагрузки приходящейся на движители трактора К-700А

В результате взвешивания ненагруженного трактора нагрузка на передний мост составила 6820 кг, на задний мост - 3340 кг.

Для подтверждения ранее полученных теоретических исследований были проведены экспериментальные исследования по влиянию длины выхода штока гидроцилиндра на перераспределение нагрузки между мостами трактора приведенные на рисунках 4.16 и 4.17.

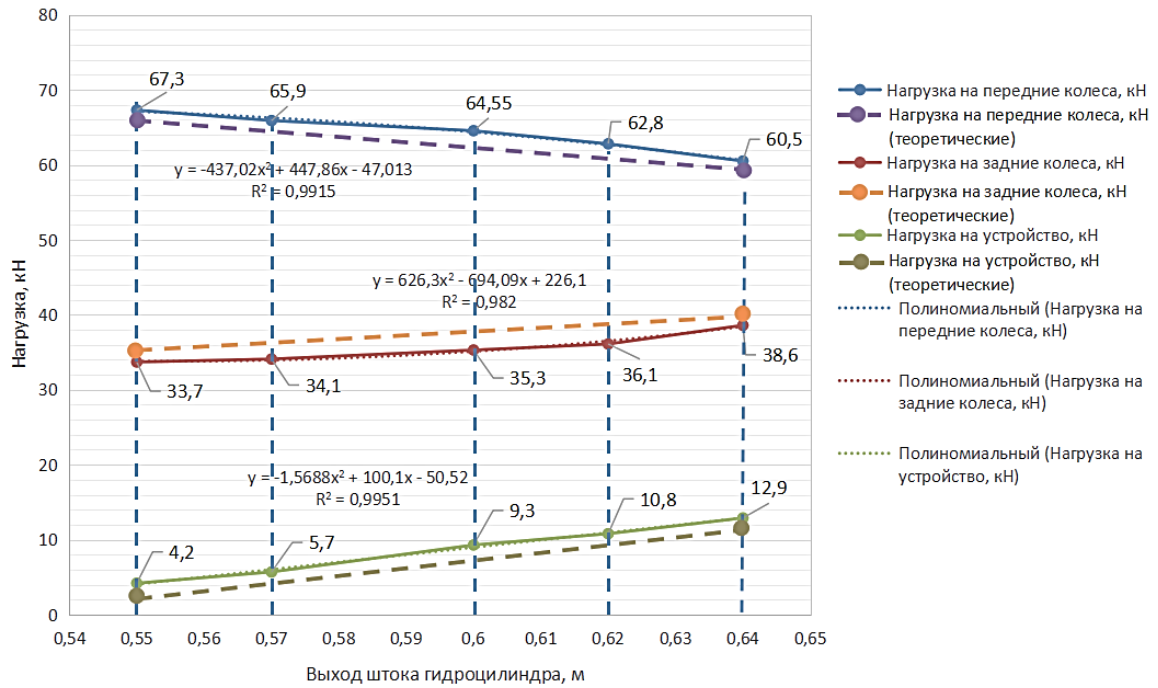


Рисунок 4.16 - Влияние длины выхода штока гидроцилиндра на перераспределение нагрузки между мостами трактора



Рисунок 4.17 – Фрагмент определения длины выхода штока гидроцилиндра

Анализ полученных данных (рисунок 4.16) показал, что в результате работы предлагаемого устройства произошло перераспределение нагрузки:

- на передний мост трактора снижение силовой нагрузки составило с 67,3 кН до 60,5 кН;

- на задний мост трактора повышение силовой нагрузки составило с 33,1 кН до 38,6 кН.

Перераспределение силовой нагрузки между мостами трактора в зависимости от длины выхода штока гидроцилиндра нагрузки можно описать уравнением регрессии:

- для переднего моста трактора

$$y = -110,65x^2 + 59,458x + 68,197 \quad (4.5)$$

- для заднего моста трактора

$$y = 80,444x^2 - 44,474x + 33,405 \quad (4.6)$$

- для предлагаемого устройства

$$y = 141,54x^2 - 70,212x - 0,0013 \quad (4.7)$$

Аналогичные исследования были проведены по влиянию угла наклона рамы на перераспределение нагрузки между мостами трактора (рисунок 4.18) [171].

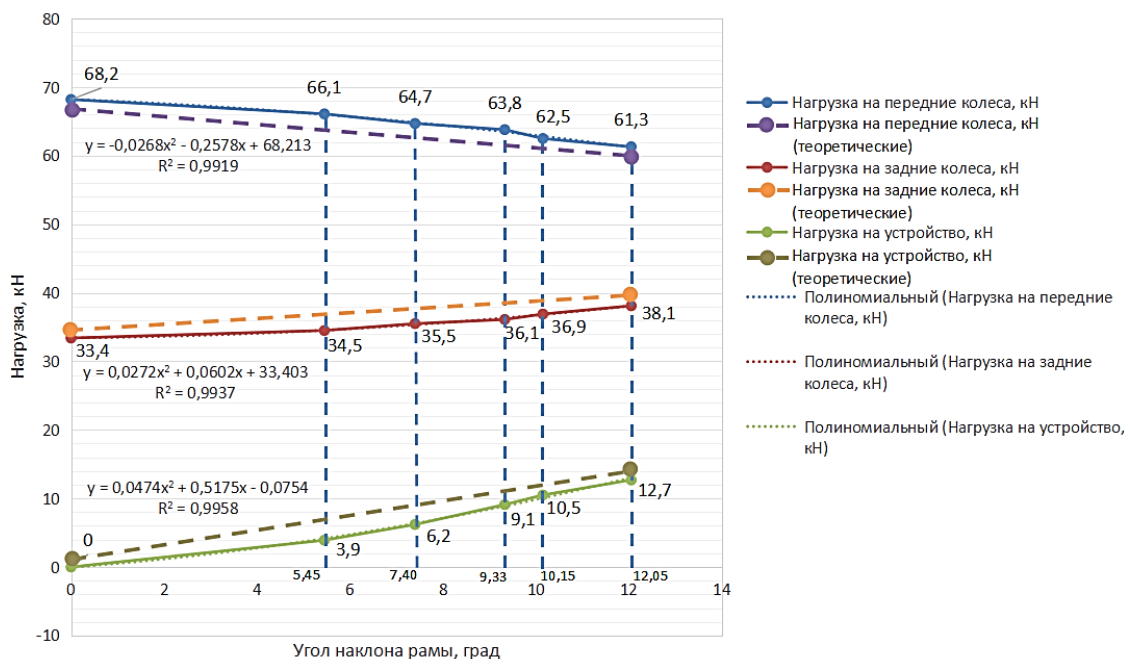


Рисунок 4.18 - Влияние угла наклона рамы устройства на перераспределение нагрузки между мостами трактора

В результате проведенных исследований было установлено, что изменение угла наклона рамы устройства произошло перераспределение нагрузки:

- передний мост трактора снижение нагрузки составило с 66,1 кН до 61,3 кН;
- задний мост трактора повышение нагрузки составило с 34,5 кН до 38,1 кН.
- нагрузка на прокалывающее устройство при максимальном силовом нагружении – 12,7 кН.

Перераспределение нагрузки между мостами трактора в зависимости от угла наклона рамы устройства нагрузки можно описать уравнением регрессии:

- для переднего моста трактора

$$y = -0,0268x^2 - 0,2578x + 68,213 \quad (4.8)$$

- для заднего моста трактора

$$y = 0,0272x^2 + 0,0602x + 33,403 \quad (4.9)$$

- для устройства

$$0,0474x^2 + 0,5175x - 0,0754 \quad (4.10)$$

Полученные данные показывают, что при увеличении нагрузки на прокалывающие органы устройства происходит перераспределение сцепного веса трактора в пределах и параметрах, согласно полученных ранее результатов теоретических исследований.

Как показали проведенные исследования, результаты теоретических и экспериментальных данных находятся в пределах доверительного интервала 3,5-5 %, что говорит о достоверности проведенных теоретических исследований.

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что в результате перераспределения нагрузки между мостами колёсного энергетического средства повысятся тягово-сцепные свойства трактора, снизится величина буксования, увеличатся скоростные характеристики МТА и расширятся его технологические критерии.

4.4 Результаты экспериментальных исследований по определению влияния прокальвателя-щелереза на величину буксования и скорость движения трактора

Одним из показателей, влияющим на эффективность использования МТА и техногенное воздействие на почвы, является величина буксования. С этой целью были проведены экспериментальные исследования, которые включали в себя проведение тяговых испытаний.

Определение тягового усилия, создаваемого на крюке экспериментального колёсного трактора, проводилось методом нагружения колёсным полурамным погрузчиком массой 7730 кг, варьированием скоростями движения и принудительным торможением (рисунок 4.19).



Рисунок 4.19 – Фрагмент проведения тяговых испытаний в серийном варианте

Измерение скоростных характеристик, пройденного пути и буксования осуществлялось с помощью тензометрической аппаратуры в составе приборно-регистрационного комплекса и датчиков буксования, установленных на экспериментальный трактор (рисунок 4.20 и рисунок 4.21).



Рисунок 4.20 – Приборно-регистрационный комплекс MAGENE C406 Pro и установка датчика буксования

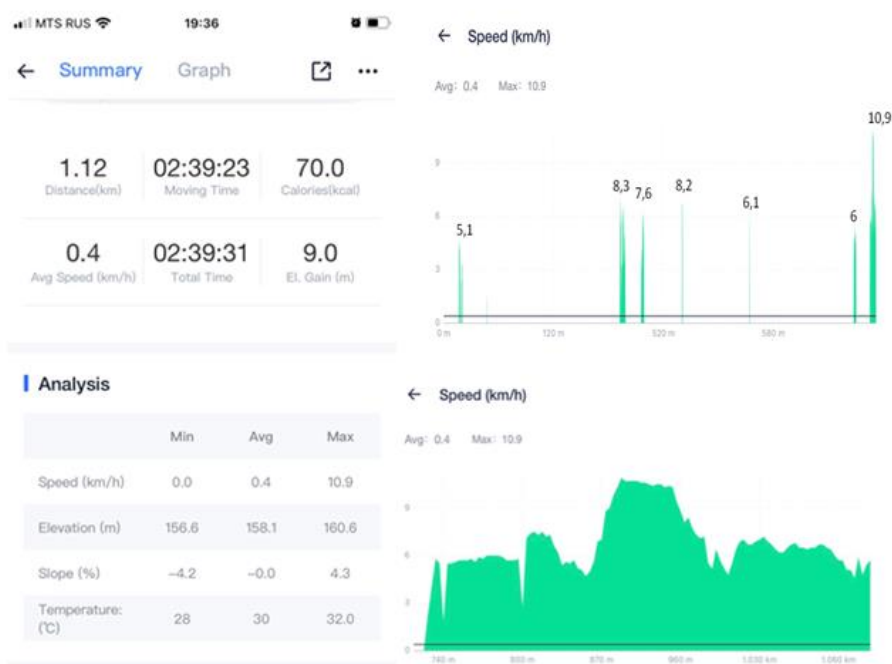


Рисунок 4.21 – Фрагмент фиксации показателей приборно-измерительным комплексом MAGENE C406 Pro

Результаты экспериментальных исследований по определению величины буксования и скорости движения трактора от длины выхода штока гидроцилиндра при тяговом усилии 48,78 кН представлены на рисунках 4.22 и 4.23.

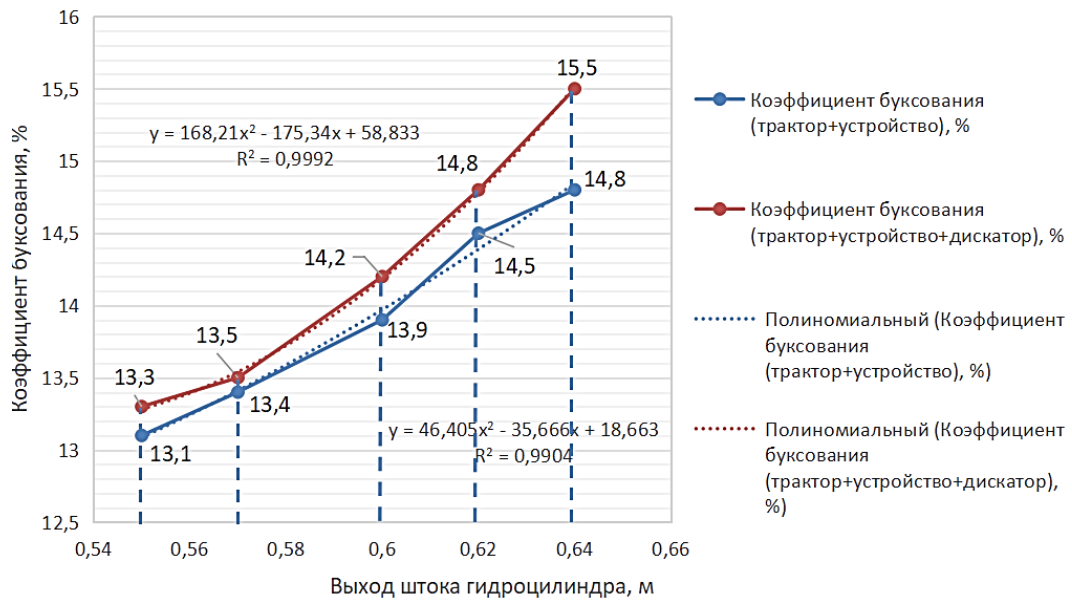


Рисунок 4.22 Зависимость величины буксования колёсного трактора К-700А от длины выхода штока гидроцилиндра

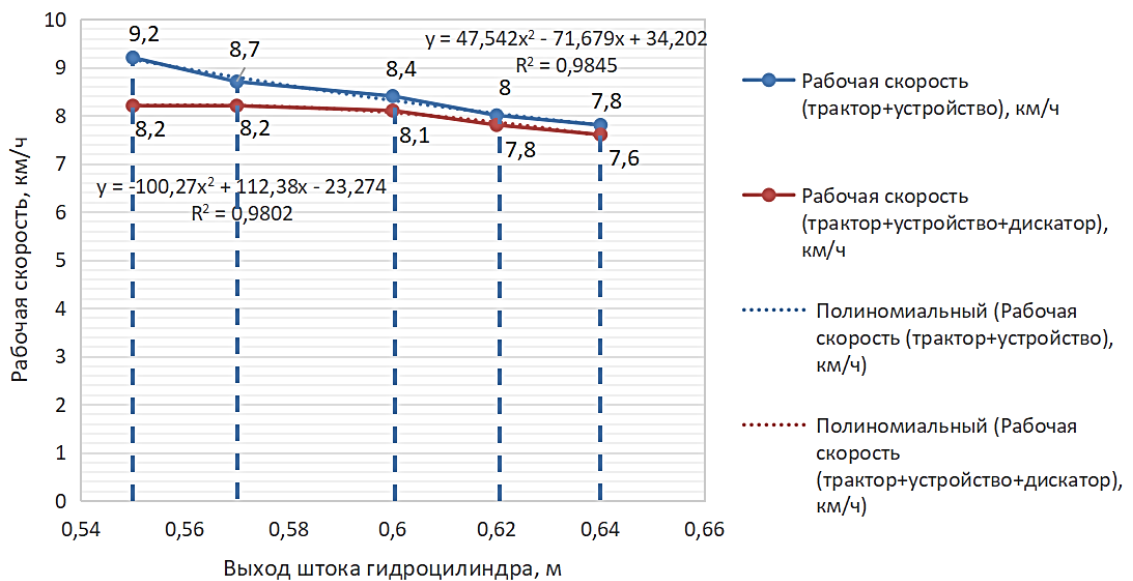


Рисунок 4.23- Зависимость скорости колёсного трактора К-700А от длины выхода штока гидроцилиндра

Анализируя полученные в результате проведения экспериментальные исследования (рисунок 4.21 и 4.22) показали, что установка на трактор прокалывателя-щелереза повысило величину буксования с 13,3 % до 15,5 % и снизило скорость движения с 9,2 км/ч до 7,8 км/ч при тяговом усилии 48,78 кН.

При работе МТА (трактор+устройство+дискатор) изменение величины буксования и скорости движения соответственно составило с 13,1 % до 14,8 % и с 8,2 км/ч до 7,6 км/ч. [173]

Аналогичные исследования были проведены и с различным углом наклона рамы (рисунок 4.24 и 4.25).

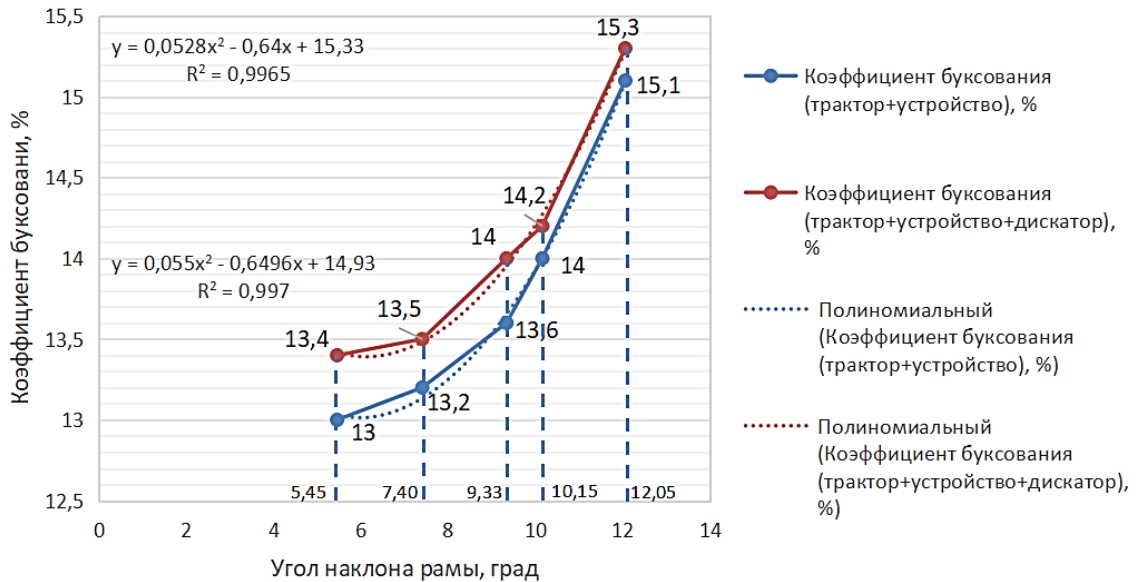


Рисунок 4.24 - Зависимость буксования колёсного трактора К-700А от угла наклона рамы

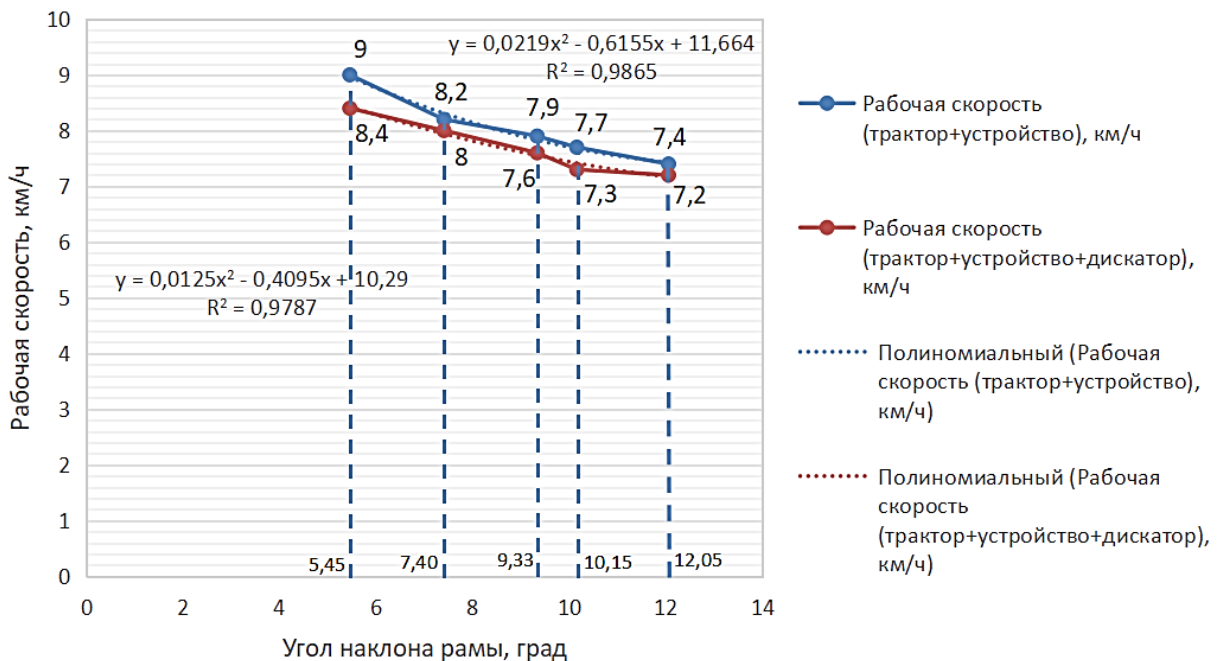


Рисунок 4.25 - Зависимость скорости колёсного трактора К-700А от угла наклона рамы

4.5 Результаты сравнительных хозяйственных испытаний

Для дальнейшего обоснования эффективности использования прокальвателя-щелереза были проведены сравнительные хозяйственные испытания МТА (К-700А+устройство+ БДМ-6х4п) и МТА (К-700А+ БДМ-6х4п).

Результаты проведенных исследований представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Результаты сравнительных хозяйственных испытаний

Показатели		Состав МТА	
		Серийный (К-700А+ БДМ-6х4п)	Экспериментальный (К-700А+ устройство+БДМ- 6х4п)
Длина гона, м		650	650
Ширина захвата, м		5,85	5,85
Скорость движения, км/ч		7,7	7,7
Производительность, га/ч	В час времени движения	3,96	3,91
	В час основного рабочего времени	3,37	3,33
Коэффициент использования времени движения		0,88	0,87
Коэффициент использования времени смены		0,85	0,84
Расход топлива на единицу обработанной площади, л/ч		22,7	23,6

На основании проведенных сравнительных хозяйственных испытаний установлено, что произошло снижение производительности экспериментального МТА по сравнению с серийным в час времени движения и в час основного рабочего времени соответственно с 3,96 га/ч до 3,91 га/ч и с 3,37 га/ч до 3,33 га/ч при одновременном увеличении расхода топлива на единицу обработанной площади с 22,7 л/ч до 23,6 л/ч. [174].

4.6 Регрессионно-дисперсионный анализ результатов исследования экспериментального колёсного энергетического средства с фронтально агрегатируемым прокальвателем-щелерезом

После изучения объекта исследования и его технических критериев возникает ряд представлений о действии различных факторов, влияющих на какой либо показатель и характеризующий объект исследования.

Для обработки результатов экспериментальных исследований использовалась методика многофакторного эксперимента.

Для определения влияния конструктивно-технологических параметров фронтального прокальвателя-щелереза на глубину обработки почвы определены основные факторы, влияющие на критерии оптимизации изучаемого процесса, а также уровни их варьирования.

Основными независимыми факторами были выбраны $x_1 - l, \text{ м}$ - выход рабочего штока гидроцилиндра; $x_2 - \alpha, \text{ град}$ - угол наклона рамы прокальвателя-щелереза и $x_3 - v, \text{ км/ч}$ - скорость движения экспериментального колёсного трактора К-700А. Результирующей функцией выбрана $Y_1 - h, \text{ м}$ - глубина прокальвания почвы прокальвающим органом перспективного устройства.

Поскольку согласно предварительным исследованиям функции отклика должны быть нелинейными, то факторы имели три уровня варьирования (таблица 4.5).

Таблица 4.5 - Факторы и уровни их варьирования

Факторы	x_1	x_2	x_3
Верхний уровень (+1)	0,64	12,05	8,2
Основной уровень (0)	0,595	8,75	7,9
Нижний уровень (-1)	0,55	5,45	7,6

Для нахождения коэффициентов полинома использовался ортогональный центрально-композиционный план второго порядка - (таблица 4.6).

Таблица 4.6 - Матрица ортогонального центрально-композиционного плана второго порядка и результаты экспериментов

№ опыта	x_1	x_2	x_3	$x_1' = x_1^2 - d$	$x_2' = x_2^2 - d$	$x_3' = x_3^2 - d$	Y1
1	+	+	+	0,2697	0,2697	0,2697	0,42
2	-	+	+	0,2697	0,2697	0,2697	0,41
3	+	-	+	0,2697	0,2697	0,2697	0,4
4	-	-	+	0,2697	0,2697	0,2697	0,39
5	+	+	-	0,2697	0,2697	0,2697	0,38
6	-	+	-	0,2697	0,2697	0,2697	0,37
7	+	-	-	0,2697	0,2697	0,2697	0,36
8	-	-	-	0,2697	0,2697	0,2697	0,33
9	1,2154	0	0	0,7469	-0,7303	-0,7303	0,46
10	-1,2154	0	0	0,7469	-0,7303	-0,7303	0,34
11	0	1,2154	0	-0,7303	0,7469	-0,7303	0,37
12	0	-1,2154	0	-0,7303	0,7469	-0,7303	0,36
13	0	0	1,2154	-0,7303	-0,7303	0,7469	0,4
14	0	0	-1,2154	-0,7303	-0,7303	0,7469	0,35
15	0	0	0	-0,7303	-0,7303	-0,7303	0,37

Ортогональность центрально-композиционного плана обеспечивается соответствующим подбором звездного плеча α (для трех факторов $\alpha = 1,2154$ [6]) и специальным преобразованием квадратичных переменных x_i^2 по выражению [3,4,6,112,146]

$$x_i' = x_i^2 - d, \quad (4.11)$$

где d – поправка, зависящая от числа факторов [4], для трех факторов $d = 0,7303$.

Значимость коэффициентов регрессии проверялась по критерию Стьюдента.

В нашем случае для 3-х степеней свободы и 90%-ном уровне значимости $t = 1,64$ [4,5,63,66,112,146,147].

Общий вид функции для матрицы ортогонального центрально-композиционного плана второго порядка будет иметь следующий вид (таблица 4.7)

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 \quad (4.12)$$

Таблица 4.7 - Проверка значимости коэффициентов регрессии по факторной обработке (Y1)

Коэффициенты регрессии	Проверка коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента		
	Численное значение	$S^2\{b_i\}$	$\frac{ b_i }{\sqrt{S^2\{b_i\}}}$
b0	0,38	0,00000667	73
b1	0,019	0,00000913	6,22
b2	0,012	0,00000913	4,12
b3	0,021	0,00000913	6,91
b12	-0,003	0,0000125	-0,71
b13	-0,003	0,0000125	-0,71
b23	-0,003	0,0000125	-0,71
b123	0,003	0,0000125	0,71
b11	0,018	0,0000229	3,78
b22	-0,012	0,0000229	-2,58
b33	0,005	0,0000229	0,96

Из таблицы 4.7 видно, что значимыми коэффициентами являются b0, b1, b2, b3, b13, b23, b123, b22, b33.

Уравнение регрессии в кодированном виде будут выглядеть следующим образом:

$$Y = 0,38 + 0,019x_1 + 0,0124x_2 + 0,021x_3 + 0,018x_1^2 - 0,012x_2^2 \quad (4.13)$$

Адекватность полученных уравнений проверялась по критерию Фишера.

В нашем случае при $f_1=15-3-1=11$; $f_2=3-1=1$ и 95 %-ном уровне значимости $F = 19,4$.

Дисперсия адекватности определялась по методике, предложенной в работах [4,66,112,148].

Значения выходного параметра, вычисленные по уравнению регрессии, представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 - Расчет дисперсии адекватности

№ опыта	Y ₁		
	y _u	\hat{y}_u	(y _u - \hat{y}_u) ²
1	0,420	0,435	0,000221218
2	0,410	0,384	0,000688969
3	0,400	0,421	0,000446068
4	0,390	0,384	0,000041763
5	0,380	0,370	0,000091240
6	0,370	0,333	0,001378984
7	0,360	0,370	0,000104732
8	0,330	0,333	0,000007029
9	0,460	0,400	0,003620206
10	0,340	0,354	0,000200330
11	0,370	0,377	0,000050737
12	0,340	0,377	0,001358856
13	0,400	0,408	0,000062671
14	0,360	0,346	0,000194069
15	0,370	0,377	0,000048900

Расчетные значения критерия Фишера составили: $F = 7,742$. Значит, полученное уравнение регрессии адекватно описывает процесс в пределах исследуемой области.

Для удобства расчетов запишем уравнения регрессии в раскодированном виде:

$$h = 2,629 - 10,226l + 0,024\alpha + 0,07v + 8,94l^2 - 0,0011\alpha^2 \quad (4.14)$$

При построении поверхностей откликов (использовалась программа SigmaPlot v.11.0) варьировались два фактора (рисунки 4.26...4.28)

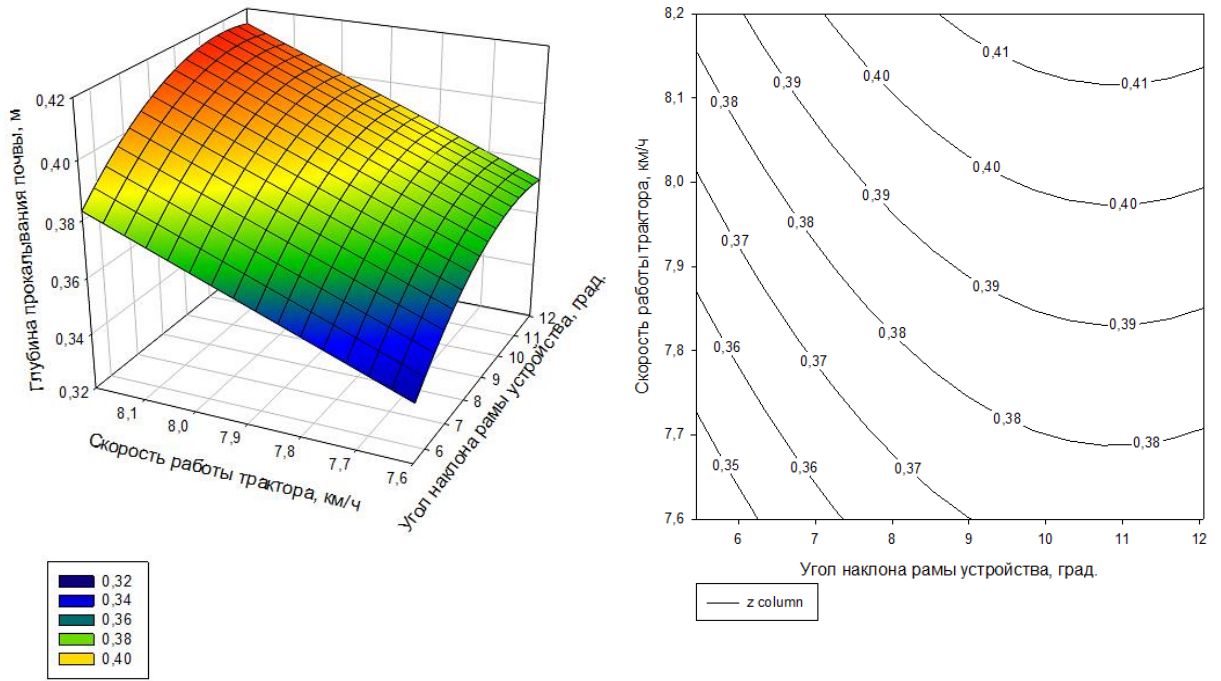


Рисунок 4.26 – Поверхность и сечение поверхности отклика h в зависимости от X_2 (α) и X_3 (v) (при зафиксированном на нулевом уровне X_1 ($l = 0,595$ м)).

$$h = -0,289 + 0,024\alpha + 0,07v - 0,0011\alpha^2 \tag{4.15}$$

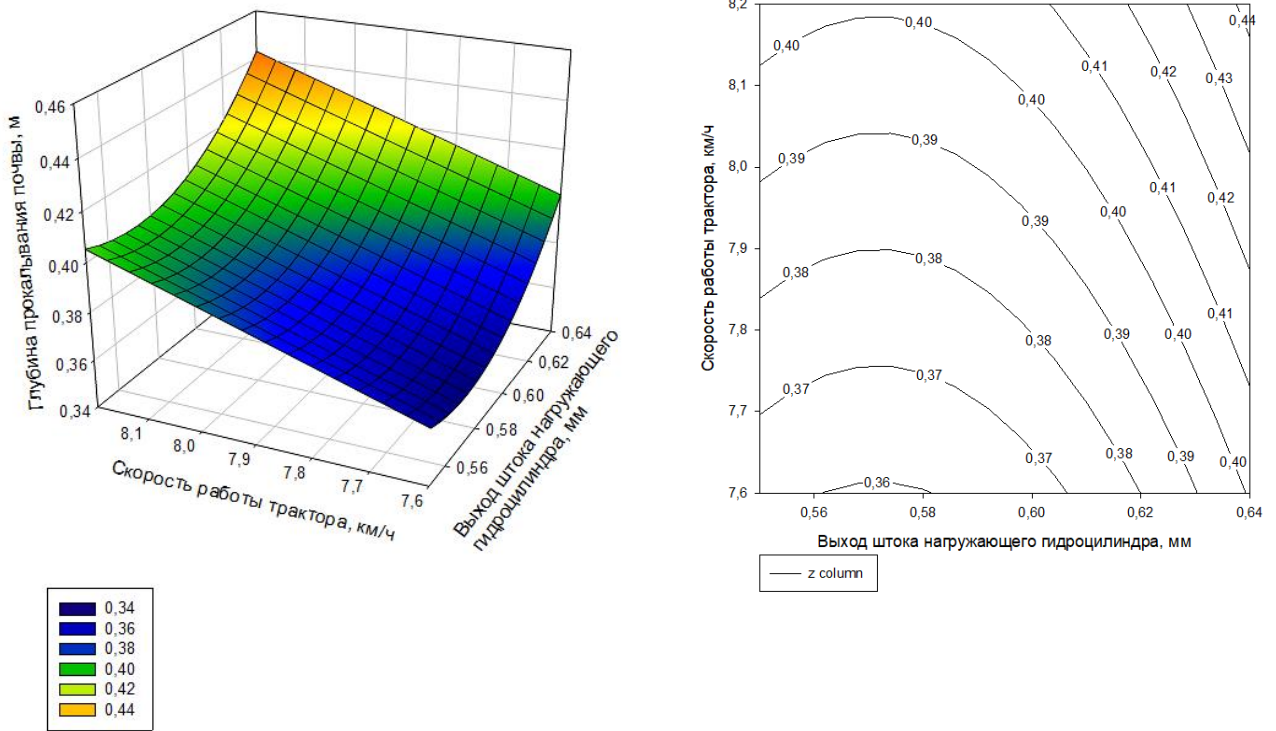


Рисунок 4.27 – Поверхность и сечение поверхности отклика h в зависимости от X_1 (l) и X_3 (v) (при зафиксированном на нулевом уровне X_2 ($\alpha = 3,57$ град.)).

$$h = 2,75 - 10,226l + 0,07v + 8,944l^2 \tag{4.16}$$

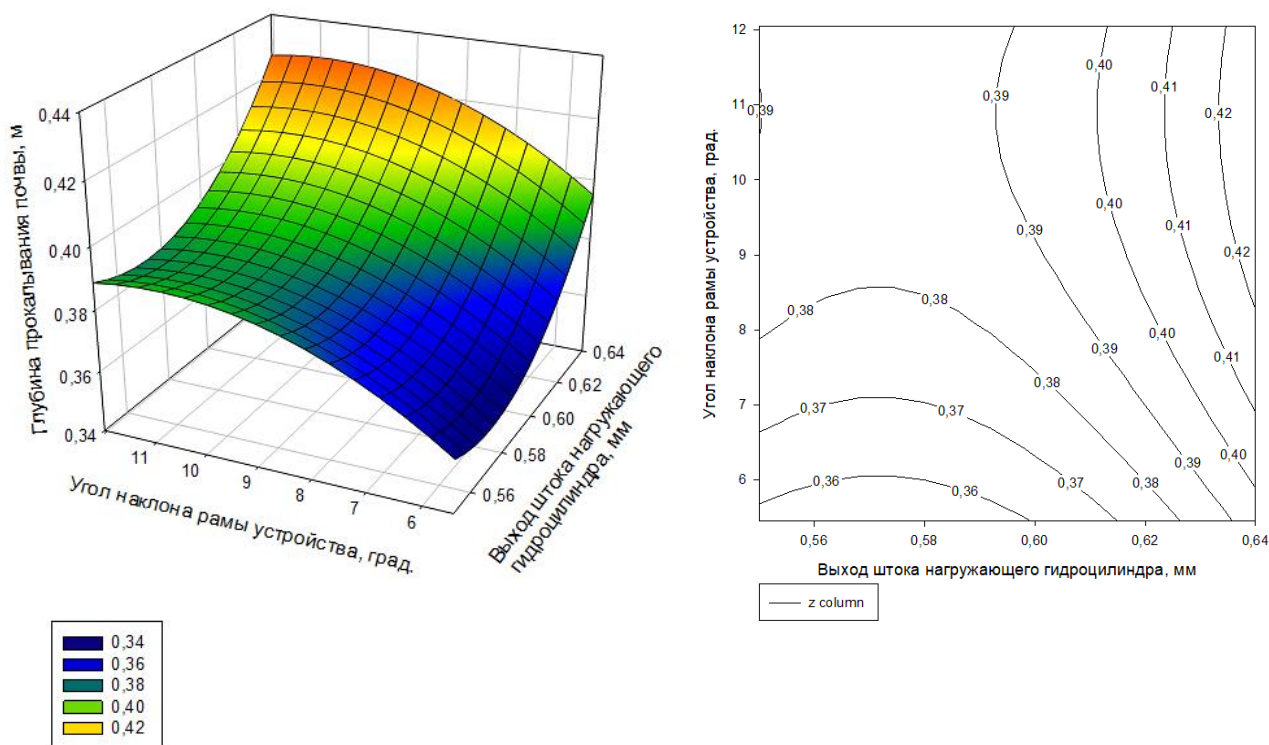


Рисунок 4.28 – Поверхность и сечение поверхности отклика h в зависимости от X_1 (l) и X_2 (α) (при зафиксированном на нулевом уровне X_3 ($v = 7,9$ км/час)).

$$h = 3,178 - 10,226l + 0,024\alpha + 8,944l^2 - 0,0011\alpha^2 \quad (4.17)$$

Таким образом, полученные визуальные отображения действующих процессов (рисунки 4.26...4.28) позволяют определить оптимальные параметры взаимодействующих факторов, а также показывают приемлемые значения их уровней для экспериментального энергетического средства с фронтальным прокальвателем-щелерезом в условиях движения колёсного трактора по почвенным поверхностям Амурской области. Так, при глубине прокальвания 0,34-0,38 м наиболее оптимальными являются рабочая скорость агрегата в диапазоне от 7,9 до 8,1 км/ч при угле наклона рамы устройства от 8^0 до 12^0 . При чём максимальная глубина прокальвания 0,42 м достигается при выходе штока нагружающего гидроцилиндра от 0,62 до 0,64 м при этом же угле наклона рамы устройства от 8^0 до 12^0 . Таким образом обоснован вывод, подтверждающий теоретические исследования, о том, что наиболее значимым фактором, ответственным за технологические показатели агрегата является выход штока нагружающего цилиндра предлагаемого устройства.

4.7 Выводы по главе

Полученные в главе данные позволили сформировать следующие обоснованные выводы:

1. Результаты проведенных исследований свидетельствуют о неравномерности распределения влаги по глубине плодородного слоя. При этом наиболее влажный слой параметрами превышения от 26,1% от нормальной влажности для почв Амурской области наблюдается уже на глубине в 0,25 м.

2. Показатели плотности и твёрдости почвы у экспериментального трактора ниже, чем у серийного. Так, плотность почвы у экспериментального трактора в обрабатываемом горизонте 0,15 м уменьшилась на 7 %, при чём зафиксированная твёрдость почвы после прохода экспериментального агрегата на 6,07 % ниже по сравнению с проходом ходовой системы серийного трактора.

3. Экспериментально установлено, что с увеличением длины выхода штока гидроцилиндра с 0,55 м до 0,64 м, глубина прокалывания почвы возросла с 0,33 м до 0,42 м, а при повышении угла наклона рамы с 5,45 градусов до 12,05 градусов произошло увеличение глубины прокалывания на 28,1 %. Что позволит уменьшить влажность подпахотного слоя почвы и создать оптимальные условия для произрастания растений.

4. В результате работы предлагаемого устройства произошло перераспределение нагрузки:

- на передний мост трактора-снижение силовой нагрузки составило с 67,3 кН до 60,5 кН;

- на задний мост трактора повышение силовой нагрузки составило с 33,1 кН до 38,6 кН.

- нагрузка на прокалывающее устройство при максимальном силовом нагружении – 12,7 кН. Таким образом, получено экспериментальное подтверждение перераспределения весовой нагрузки в ходовой системе колёсного трактора, подтверждающее, что при увеличении нагрузки на прокалывающие органы устройства происходит перераспределение сцепного веса трактора в

пределах и параметрах, согласно полученных ранее результатов теоретических исследований.

5. Тяговые испытания показали, что при тяговом усилии 48,78 кН изменение величины буксования и скорости движения серийного МТА (трактор+устройство+дискатор) соответственно составило с 13,1 % до 14,8 % и с 8,2 км/ч до 7,6 км/ч. При том, что установка на трактор прокальвателя-щелереза повысила величину буксования с 13,3 % до 15,5 % и снизила скорость движения с 9,2 км/ч до 7,8 км/ч.

6. Сравнительными хозяйственными испытаниями установлено, что произошло снижение производительности экспериментального МТА по сравнению с серийным в час времени движения и в час основного рабочего времени соответственно с 3,96 га/ч до 3,91 га/ч и с 3,37 га/ч до 3,33 га/ч при одновременном увеличении расхода топлива на единицу обработанной площади с 22,7 л/ч до 23,6 л/ч.

7. Регрессионно-дисперсионный анализ результатов исследования экспериментального колёсного энергетического средства с фронтальным прокальвателем-щелерезом позволил обосновать оптимальные параметры взаимодействующих факторов, а также определил приемлемые значения их уровней для экспериментального энергетического средства.

5. ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МТА ПРИ ПОДГОТОВКЕ ПОЧВЫ ПОД ПОСЕВ

Оценку эффективности работы средств механизации чаще всего проводят по таким показателям: приведённым затратам, рентабельности, прибыли и ряду других на основании ГОСТ 34393-2018 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки» [55,115,116,117]. В настоящее время одним из направлений повышения эффективности использования средств механизации является снижение энергоёмкости проводимых сельскохозяйственных операций. Решение данной проблемы чаще всего находит решение путём использования много операционных машин выполняющих за один проход несколько операций. Однако используемые методы экономической оценки работы средств механизации не всегда дают возможность оценить энергетическую эффективность проводимых работ и наметить пути решения. В связи с этим для лучшей и более объективной оценки энергоэффективности предлагается методика энергетического анализа предложенная ВИМ [114,118,119,120].

Предлагаемая методика энергетического анализа направлена не на замену экономического анализа, а для более детального рассмотрения с точки зрения энергозатрат.

В предлагаемой методике учитываются такие энергетические показатели как:

- энергозатраты живого труда

$$E_{\text{ж}} = \frac{a_{\text{ж}} \cdot n_{\text{ч}}}{W_{\text{см}}}, \quad (5.1)$$

где $a_{\text{ж}}$ – энергетический эквивалент живого труда, МДж/ч; $n_{\text{ч}}$ – число основных трактористов, чел; $W_{\text{см}}$ – производительность МТА, га/ч.

- прямые энергозатраты

$$E_{\text{п}} = N_{\text{т}} \cdot (a_{\text{т}} + f_{\text{т}}), \quad (5.2.)$$

где $N_{\text{т}}$ – расход топлива, кг/га; $a_{\text{т}}$ – теплосодержание топлива, МДж/кг;

$f_{\text{т}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительные затраты энергии на производство топлива, МДж/кг.

- энергозатраты трактора

$$E_T = \frac{M_T \cdot C_{TP} \cdot (K_T + K_{TK} + K_{TP})}{100 \cdot T_{HT}}, \quad (5.3)$$

где K_T , K_{TK} , K_{TP} – отчисления на реновацию, капитальный и текущий ремонт энергетического средства; M_T – масса энергетического средства, кг; C_{TP} – энергетический эквивалент энергетического средства, МДж/кг; T_{HT} – годовая загрузка тракторов, ч.

- энергозатраты сельскохозяйственной машины:

$$E_M = \frac{M_M \cdot \Pi_M \cdot (\Phi_M + \Phi_{MK})}{100 \cdot T_{HT}}, \quad (5.4)$$

где M_M – масса сельскохозяйственной машины, кг; Π_M – энергетический эквивалент сельскохозяйственной машины, МДж/кг; Φ_M , Φ_{MK} – отчисления на реновацию, капитальный и текущий ремонт тракторов, %; T_{HT} – годовая загрузка сельскохозяйственной машины, ч.

- суммарные МГА в расчёте на 1 г:

$$E_{TM} = \frac{E_T + E_M}{W_{CC}} \quad (5.5)$$

- полные энергозатраты

$$E_{ТП} = E_{П} + E_{Ж} + E_{TM}. \quad (5.6)$$

- энергетическая эффективность использования средств механизации

$$\Delta E_{ТП} = E_{ТНБ} - E_{ТПП}, \quad (5.7)$$

где $E_{ТНБ}$ – совокупные энергозатраты новой машины, МДж/га; $E_{ТПП}$ – совокупные энергозатраты базовой машины, МДж/га.

При расчёте энергетических показателей по данной методике учитывались методические нормативные и справочные материалы, а также результаты хронометражных наблюдений (приложение 10)

В основу расчёта энергетической эффективности положено то, что операции по подготовке почвы под посевные работы и щелевание проводят по отдельности, а использование нашего устройства совмещает эти две операции.

На основе выше изложенной методики, провели топливно-энергетическую оценку, полученные данные приведены в таблице 5.1

Таблица 5.1 - Топливоно-энергетическая оценка проведённых исследований, МДж/га

Состав МТА / показатели	К-700А +ПЩК-6,8	К-700А +ПГЧ-3	К-700А + БДМ-6х4п	К-700А + устройство + БДМ-6х4п
Прямые затраты, <i>МДж/га</i>	1682,56	1749,64	1196,29	1243,72
Затраты живого труда, <i>МДж/га</i>	0,34	0,48	0,31	0,32
Суммарная энергоёмкость МТА, <i>МДж/га</i>	166,75	146,29	258,83	265,99
Совокупные энергозатраты, <i>МДж/га</i>	1849,77	1896,41	1455,28	1510,16
Экономия полных энергозатрат, <i>МДж/га</i>	-	-	-	1841,53

Анализируя топливоно-энергетическую оценку проведенных исследований (Таблица 5.1) можно сделать вывод, что использование МТА (К-700А +устройство + БДМ-6х4п) позволяет получить экономию полных энергозатрат в размере 1841,53 МДж/га. В пересчёте на рублёвый эквивалент экономический эффект составил 418,43 руб/га.

ВЫВОДЫ

По итогам исследований, проведенных в диссертационной работе, получены результаты, позволяющие сформулировать следующие обоснованные выводы:

1. Изучены и проанализированы характерные особенности природно-климатических и производственных условий региона, установлено их влияние на эффективность использования колёсных энергетических средств в составе почвообрабатывающих машинно-тракторных агрегатов. Обоснованы возможности повышения эффективности при эксплуатации колёсных тракторов в агропромышленном комплексе региона при их использовании в составе многооперационных агрегатов.

2. Предложено методологическое обоснование и сформирована конструкция фронтально агрегируемого устройства, предназначенного для проведения пунктирного щелевания в составе МТА, способствующая перераспределению нагрузки между мостами энергетического средства, повышению тягово-сцепных свойства трактора и снижению техногенного воздействия его ходовой системы на обрабатываемые почвы.

3. Теоретически аргументировано и экспериментально подтверждено влияние перераспределения веса между мостами колёсного трактора тягового класса 5 на эффективность использования МТА. В результате использования предложенного устройства, нагрузка на движители переднего моста колёсного энергетического средства снизилась с 67,3 кН до 60,5 кН, а на заднем мосту - увеличилась с 33,1 кН до 38,6 кН, нагрузка на прокалывающее устройство при максимальном силовом нагружении зафиксирована на уровне 12,7 кН.

Таким образом полученные экспериментальные данные позволяют сделать вывод, что при увеличении нагрузки на прокалывающие органы устройства происходит перераспределение сцепного веса трактора в пределах и параметрах, согласно полученных ранее результатов теоретических исследований.

4. В результате экспериментальных испытаний получена зависимость глубины прокалывания почвенного слоя. Установлено, что при увеличении

выхода штока гидроцилиндра от 0,55 м до 0,64 м и изменения угла положения рамы экспериментального устройства с $5,45^0$ до $12,05^0$ глубина прокалывания почвы возрастает от 0,33 м до 0,42 м, что позволяет провести щелевание почвы на различной глубине. При этом показатели плотности и твёрдости почвы у экспериментального трактора меньше, чем у серийного. Так плотность почвы у экспериментального трактора в обрабатываемом горизонте 0,15 м уменьшилась на 7 %, при чём зафиксированная твёрдость почвы после прохода экспериментального агрегата на 6,07 % ниже по сравнению с проходом ходовой системы серийного трактора.

5. Проведённые тяговые испытания показали, что при тяговом усилии 48,78 кН изменение величины буксования и скорости движения серийного МТА (трактор+дискактор) соответственно составило с 13 % до 15,1 % и с 9 км/ч до 7,4 км/ч. При этом установка на трактор прокалывателя-щелереза повысила величину буксования с 13,4 % до 15,3 % и снизила скорость движения с 8,4 км/ч до 7,2 км/ч.

6. Сравнительными хозяйственными испытаниями установлено, что произошло снижение производительности экспериментального МТА по сравнению с серийным в час времени движения и в час основного рабочего времени соответственно с 3,96 га/ч до 3,91 га/ч и с 3,37 га/ч до 3,33 га/ч при одновременном увеличении расхода топлива на единицу обработанной площади с 22,7 л/ч до 23,6 л/ч. Выполненная экономическая и топливно-энергетическая оценка показала, что общая экономия полных энергозатрат при использовании колёсного энергетического средства с агрегатированным фронтально прокалывателем-щелерезом при подготовке полей под посев составила 1841,53 МДЖ/га, что в пересчёте на рублёвый эквивалент (в стоимости дизельного топлива летнего в Амурской области на 30.10.2024 года) составляет 418,43 руб/га.

Рекомендации производству. Программные продукты и конструктивные схемы предлагаемых технических решений, в зависимости от почвенной структуры, наличия количества влаги в верхних слоях и глубины залегания уплотнительной плужной подошвы, а также состава и комплектности МТА

позволяют провести прогнозирование технологических характеристик колёсных энергетических средств на полевых работах в условиях повышенной почвенной влажности и обеспечить выполнение полевых операций с максимальной производительностью.

Перспективы дальнейшей разработки темы. Дальнейшее развитие применения фронтальных агрегируемых прокалывающих устройств в составе комбинированного МТА в зональных условиях эксплуатации Амурского региона может быть направлено на их использование с тракторами моноблочной компоновки при проведении посева в составе посевных комплексов и при проведении ухода за посевами, когда выпадает большое количество осадков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агропромышленный комплекс России в 2023 году: статистический сборник / Министерство сельского хозяйства РФ. - Москва, 2024. – 561 с.
2. Агроклиматические ресурсы Амурской области. – Л.: Гидрометеоздат, 1973. – 104 с.
3. Адлер, Ю.П. Введение в планирование эксперимента. М.: «Металлургия», 1969.
4. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий.- М.: Наука, 1976, 279 с.
5. Азимов, Б. Параметрическая идентификация и оценка динамических нагрузок на несущие элементы колёсного трактора/ Б. Азизов, Д.К. Якубжанова // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: сб. науч. тр. XI-ой Международной научно-практической конференции, 19-21 марта 2014 / Юго-Зап. гос. ун-т . – Курск, 2014. – Т. 1.– С. 70-74.
6. Алдошин, Н.В. Анализ составляющих эксплуатационного времени при помощи дискретных математических моделей [Текст] / Н.В. Алдошин // Эксплуатационная обеспеченность интенсивных технологических процессов в растениеводстве: сб. научн. тр. / Моск. институт инженеров с.-х пр-ва им. В.П. Горячкина. – М. МИИСП, 1988. – С. 98-104.
7. Алдошин, Н.В. Повышение производительности при перевозке сельскохозяйственных грузов / Н.В. Алдошин, А.С. Пехутов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2012. - №4. - С. 26-27.
8. Амельченко, П.Н. Колёсные тракторы для работы на склонах / П.Н. Амельченко, И.П. Ксенович, В.В. Гуськов, А.И. Якубович. – Москва : Машиностроение, 1978. – 248 с.
9. Амурский статистический ежегодник 2023: статистический сборник / - Амурстат. Благовещенск, 2024. - 390 с.

10. Амурский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Дальневосточное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», официальный сайт// [Электронный ресурс] URL <https://www.meteorf.gov.ru/about/structure/cgms/3070>.

11. Аникин, А.С. Влияние кратности проходов движителей по одному следу на деформацию и плотность почвы / А.С. Аникин, С.Н. Миркин // Улучшение агротехнической проходимости машин: сб. науч. работ / Саратов. гос. с.-х. акад. – Саратов, 1991. – С. 4-12.

12. Асманкин, Е.М. Аспект на проблему устойчивости движения колёсных машин / Е.М. Асманкин, С.В. Юмакаева, А.Ж. Нуритдинова, И.В. Яковлев // Материалы всероссийской заочной научно-практической конференции «Инновационные научные решения основа модернизации аграрной экономики». – Пермь, 2011. – ч. 2. С. 5 – 10.

13. Аушев, М.Х. Параметры и режимы работы комбинированного почвообрабатывающего агрегата для предпосевной обработки почвы. [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / М.Х. Аушев. – Нальчик: Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова, 2018. – 141 с.

14. Баранский, А.Н. Улучшение эксплуатационных показателей и использования колёсных тракторов / А. Н. Баранский. – Минск: Урожай, 1968. – 256 с.

15. Беляев В.И., Вольнов В.В. Ресурсосберегающие технологии возделывания зерновых культур в Алтайском крае. Монография: - Барнаул: Алт.ГАУ, 2010. - 178 с.

16. Блохин В.Д., Моисеенко А.А., Ступин В.М. Научные основы земледелия на Дальнем Востоке России. - Владивосток: Дальнаука, 2011. - 216 с.

17. Бобряшов, А.П. Определение оптимальных тягово-скоростных режимов работы сельскохозяйственных колёсных тракторов [Текст] / А.П. Бобряшов // Разработка инновационных технологий и технических средств для АПК: сб. науч. тр. 8-й Международной научно-практической конф.

«Инновационные разработки для АПК», 28-29 марта, 2013. – Зелиноград, 2013. – Ч. 1. – С. 278-284

18. Бойков, В.М. Механико-техническое обоснование эффективных способов и технических средств основной обработки почвы. [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук / В.М. Бойков. – Саратов, 1998. – 371 с.

19. Бондарев, А.Г. Серые лесные почвы [Текст] / А.Г. Бондарев, П.М. Сапожников, В.Ф. Уткаев, В.М. Щепотьев // Переуплотнение пахотных почв. Причины, следствия, пути уменьшения / под ред. чл.-корр. АН СССР В.А. Ковды. – М.: Наука, 1987. – С. 67-85

20. Бочаров, А.В. Повышение тягово-сцепных свойств прицепного транспортного агрегата за счет автоматической гидродогрузки задних колес трактора: автореф. дис. канд. тех наук: 05.20.01 / А.В. Бочаров. – Воронеж, 2000. – 21 с.

21. Бумбар, И.В. Совершенствование технологического процесса работы зерноуборочного комбайна на уборке сои: учебное пособие. - 2-е изд., испр. и доп.) / И. В. Бумбар. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 1999. – 141 с.

22. Бурыкин, А.М. Устойчивость почв к водной эрозии и ее динамика / А.М. Бурыкин // Почвоведение. 1979. – № 12. – С. 110–120

23. Вдовенко А.В., Ким Л.В. Проблемы и перспективы использования земель сельскохозяйственного назначения в Дальневосточном регионе. - Хабаровск, 2013. – 168 с.

24. Виссер, О.А. Влияние уплотнения почвы тракторами на урожай картофеля / О. А. Виссер, К. И. Гаврилов // Записки Ленинградского сельскохозяйственного института. – Л., 1970. – Т. 137, Вып. 3. – С. 14-18.

25. Власов, В.А. Результаты урожайности сельскохозяйственных культур по следам движителей / В.А. Власов // Улучшение агротехнической проходимости машин: сб. науч. тр. /– Саратов: Сарат. гос. с.-х. акад., 1991. – С. 38-41.

26. Вонг, Джу. Теория наземных транспортных средств / Джу Вонг. - М.: Машиностроение, 1982. – 285 с.

27. Вторников, А.С. Повышение эффективности использования колёсных энергетических средств на транспортных работах в условиях Амурской области: дис.канд.техн.наук: 05.20.01 / А.С. Вторников. - Благовещенск, 2022. -108 с.

28. Гапич, Д.С. Стабилизация режимов нагружения колёсных машинно-тракторных агрегатов: автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.20.01 / Д.С. Гапич.– Волгоград: Волгогр. гос. аграр. ун-т., 2014. – 43 с.

29. Геращенко, В.В. Устройство для регулирования сцепного веса трактора / В.В. Геращенко, П.В. Жадик, А.В. Жадик // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2002. - № 5. – С. 14-15.

30. Голов, Г.В. Почвы и экология агрофитоценозов Зейско-Буреинской равнины / Г.В. Голов. – Владивосток: Дальнаука, 2001. – 162 с.

31. Голов, Г.В. Почвы и экология агрофитоценозов Зейско-Буреинской равнины / Г. В. Голов. – Владивосток: Дальнаука, 2001. – 162 с.

32. Голованов, Д.А. Параметры рабочих органов комбинированного почвообрабатывающего орудия для накопления влаги в засушливых зонах западной Сибири. [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Д.А. Голованов. – Саратов, 2013. – 20 с.

33. Голубев, В.В. Влияние плотности почвы на урожайность сои в условиях учхоза ДальГАУ и ХНИИСХ КНР / В. В. Голубев, Ю. Н. Рубан, Е. Б. Захарова, Цинн Футин, Тан Цунсин, Бай Сюймей // Пути воспроизводства плодородия почв и повышения урожайности сельскохозяйственных культур в Приамурье: сб. науч. тр. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 1997. – Вып. 3. – С. 15-21.

34. Голубев, В.В. Эффективность системы машин для возделывания зерновых культур и сои /В. В. Голубев, Е. Б. Захарова // Пути воспроизводства плодородия почв и повышение урожайности сельскохозяйственных культур в Приамурье: сб. науч. тр. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2000. – Вып. 6. – С. 9-17.

35. Горлов А.В., Реймер В.В., Горлова Е.Е. Стратегический анализ развития аграрного сектора региональной экономики (на примере Амурской области) / Международный сельскохозяйственный журнал. - 2019. - № 4. - С. 43–47.
36. Городецкий, К.И. Тяговый КПД трактора при переменном кинематическом рассогласовании ведущих колес // Тракторы и сельхозмашины. 1982. - № 2. – С. 22-24.
37. Горшенин, В.И. Анализ средств механизации обработки почвы. / В.И. Горшенин, А.В. Алёхин // Современные проблемы технологии производства, хранения, переработки и экспертизы качества сельскохозяйственной науки: Материалы науч.- практич. конф. (26 - 28 февраля 2007 г.) / - Мичуринский гос. аграрн. университет. - Мичуринск: Издательство МичГАУ, 2007. С. 242-244.
38. Горшков, Ю.Г. Повышение тягово-сцепных свойств колёсных машин [Текст] / Ю.Г. Горшков, А.В. Богданов, И.Ю. Аверьянов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2004. - № 12. – С. 20-22.
39. Горшков, Ю.Г. Увеличение сцепного веса МТА с помощью автоматического догрузателя [Текст] / Ю.Г. Горшков, А.Г. Попова, Е.В. Лисицина // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. – № 4. – С. 21-23.
40. Горячкин, В.П. Собрание сочинений [Текст]: в 3-х т. / под ред. Н.Д. Лучинского. – М.: Колос, 1968. – 720 с. – 1 т.
41. Горячкин, В.П. Собрание сочинений [Текст]: в 3-х т. / под ред. Н.Д. Лучинского. – М.: Колос, 1968. – 455 с. – 2 т.
42. Горшенин, Д.Ю. Повышение эффективности процесса щелевания путем использования многоярусного рабочего органа. [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Д.Ю. Горшенин. – Волгоград, 2009. – 166 с.
43. ГОСТ 12.2.002-91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Техника сельскохозяйственная. Методы оценки безопасности. Сб. ГОСТов. - М.: ИПК Издательство стандартов, 1992. - 61 с.
44. ГОСТ 20915-2011. Сельскохозяйственная техника. Методы определения условий испытаний. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2013 – 27 с.

45. ГОСТ 23730-88. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки универсальных машин и технологических комплексов. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 14 с.
46. ГОСТ 30745-2001 (ИСО 789-9-90) Тракторы сельскохозяйственные. Определение тяговых показателей. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. - 15 с.
47. ГОСТ 30746-2001 (ИСО-789-2-93) Тракторы сельскохозяйственные. Определение мощности и грузоподъемности гидравлической навесной системы. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. - 11 с.
48. ГОСТ 30750-2001 Тракторы сельскохозяйственные. Определение положения центра тяжести. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.- 9 с.
49. ГОСТ 7057-2001. Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 11 с.
50. ГОСТ Р 54784-2011 Испытания сельскохозяйственной техники. Методы оценки технических параметров. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2012. – 23 с.
51. ГОСТ Р 54784-2011 Испытания сельскохозяйственной техники. Методы оценки технических параметров.- М.: Стандартиформ, 2012. - 23 с.
52. ГОСТ 26244-84 Обработка почвы предпосевная. Требования к качеству и методы определения. - М.: Издательство стандартов, 1986. - 7 с.
53. ГОСТ 30746-2001 (ИСО-789-2-93) Тракторы сельскохозяйственные. Определение мощности и грузоподъемности гидравлической навесной системы. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.- 11 с.
54. ГОСТ 26953-86 Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву. - М.: ИПК Издательство стандартов, 1987.- 11 с.
55. ГОСТ 34393 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки» - М.: ИПК Издательство стандартов, 2018.- 15 с.
56. Грибановский А.П., Бидлингмайер Р.В. Комплекс противоэрозионных машин (теория, проектирование). - Алма-Ата: Кайнар, 1990. – 256 с.

57. Грицай, А.Д. Продуктивность сельскохозяйственных культур в зависимости от плотности сложения пахотного слоя почвы /А. Д. Грицай // Тезисы докладов научной конференции. – Киев, 1975. – С. 102-108.

58. Гуськов, Ю.А. Проектирование транспортно-технологических процессов в земледелии Сибири: монография // Ю.А. Гуськов [и др.] // Новосибирск, 2013. – 152 с.

59. Демко, А.Н. Повышение эффективности использования почвообрабатывающего агрегата на базе колёсного трактора класса 1,4 в технологии биологизированного земледелия. [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / А.Н. Демко. - Благовещенск, 2019 г. – 160 с.

60. Дёмшин, С.Л. Определение оптимального расстояния между рядами плоскорезующих лап и дисковых секций почвообрабатывающего агрегата / С.Л. Дёмшин, Д.А. Черемисинов, В.В. Ильичёв // Пермский аграрный вестник № 3, - Пермь, 2019. - С. 19-29.

61. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в науке и технике. Методы обработки данных. – М: Мир, 1980. – 610 с.

62. Донцов, И.Е. Устойчивость движения МТА с орудиями фронтальной или задней навески / Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2008. - № 9. - С. 31–34.

63. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 5-е изд., испр., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

64. Доценко, А.Е. Совершенствование технологического процесса глубокой обработки почвы за счет разработки комбинированного рабочего органа. [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / А. Е. Доценко. – Волгоград, 2017. – 166 с.

65. Дроботов, Д.В. Параметры процесса обработки почвы горизонтально расположенными дисковыми рабочими органами. [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Д.В. Дроботов. – Краснодар, 2016. – 215 с.

66. Емельянов, А.М. Элементы математической обработки и планирования инженерного эксперимента [Текст]: учеб. пособие / А.М. Емельянов, А.М. Гуров. – Благовещенск, 1984. – 61 с.

67. Егоров, В.Н. Техничко–экономические показатели применения догружающего устройства в тракторно–транспортном агрегате / В.Н. Егоров // Современные проблемы агроинженерной науки и образования. – Екатеринбург, 2013. – С. 28-31.

68. Единая межведомственная информационно-статистическая система / Координатор: Федеральная служба государственной статистики; Оператор: Министерство связи и массовых коммуникаций РФ. М.: Федеральная служба государственной статистики, 2020. Режим доступа: [//www.fedstat.ru](http://www.fedstat.ru)

69. Ешеев, С.Б. Влияние ходовых систем тракторов на плодородие каштановых почв Бурятии / С.Б. Ешеев, С.Ф. Калашников // Воздействие движителей на почву: сб. науч. тр. ВИМ. – М., 1988. – Т. 118. – С. 126-131.

70. Завалишин, Ф.С. Исследование и оценка тракторно-транспортных агрегатов / Ф.С. Завалишин, А.Е. Волощенко // Механизация сельскохозяйственного производства: записки Воронежского СХИ. – Воронеж, 1972. – Т.53. – С. 3 – 10.

71. Зангиев, А.А. Практикум по эксплуатации машинно-тракторного парка / А.А. Зангиев, А.Н. Скороходов. – М.: Колосс, 2006. – 317 с.

72. Захарченко, А.Н. Влияние ходовых систем тракторов кл. 3 на уплотнение почвы и урожайность / А. Н. Захарченко, И. В. Заикина, А. А. Захарченко // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. – № 9. – С. 23-26.

73. Зеленин, А.Н. Основы разрушения грунтов механическими способами / А.Н. Зеленин. – М.: Машиностроение, 1968. - 375 с.

74. Зимагулов А.Х. Требования к тяговым мобильно-энергетическим средствам для выполнения технологических операций / А.Х. Зимагулов, Р.Г. Нуруллин //тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2003. – № 4. – С. 22-24.

75. Золотаревская, Д.И. Прогнозирование уплотняющего воздействия на почву колёсных тракторов / Д.И. Золотаревская, К. Джафаринаими // Тракторы и сельхозмашины. – 2008. – № 1. – С. 34-39. / – Благовещенск: Издательство Дальневосточного ГАУ, 2016. – 574 с.

76. Зональная система земледелия Амурской области / под ред. В.Ф. Кузина. – Благовещенск: Хабаровск. кн. Издательство, 1985. – 271 с.

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

78. Зырянов, А.П. Исследование влияния удельной силы колёсного трактора на распределение нагрузки по его осям / А. П. Зырянов // Вестник ЧГАА. – 2010. – Т. 57. – С. 95-97.

79. Измайлов, А.Ю. Транспортные системы в сельском хозяйстве на базе контейнерных технологий / А.Ю. Измайлов // Техника и оборудование для села. – 2007. - № 3. С. 22-23.

80. Ильичев, В.В. Обоснование конструктивно-технологических параметров агрегата для основной и поверхностной обработки почвы. [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / В.В. Ильичев. – Княгинино, 2020. – 168 с.

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

82. Кабулов, С.И. Влияние движителей машинно-тракторных агрегатов на опорное основание / С.И. Кабулов, Р.Б. Рыков, И.В. Божко, В.В. Колесник // Научная жизнь № 10, 2018. – С. 32-40

83. Камчадалов, Е.П. Оценка взаимодействия элементов подсистемы трактор–поле в технологическом процессе / Е. П. Камчадалов // Механизация возделывания сельскохозяйственных культур на Дальнем Востоке: сб. науч. тр. / БСХИ. – Благовещенск, 1975. – Вып. 4. – С. 3-8.

84. Камчадалов, Е.П. Техногенно-нормируемая эксплуатация машинно-тракторного парка: метод. пособие / Е. П. Камчадалов, Ю. Н. Рубан, А. В. Липкань. – Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2003. – 120 с.
85. Карабаницкий, А.П. Теоретические основы производственной эксплуатации МТП / А.П. Карабаницкий, Е.А. Кочкин. – М.: Колосс, 2012. – 86 с.
86. Кашпура, Б.И. Система земледелия Амурской области / Б.И. Кашпура. – Благовещенск: ИПК Приамурье, 2003. – 300 с.
87. Кильдюшкин, В.М. Влияние основной обработки почвы на эффективность возделывания сельскохозяйственных культур / В.М. Кильдюшкин, А.А. Романенко // Достижения науки и техники в АПК. - 2007. - № 2. - С.39.
88. Ким, Ю.А. Влияние конструктивных параметров колёсных движителей на изменение физико-механических свойств почвогрунта и тяговые качества трактора / Ю. А. Ким, П. В. Зеленый, И. В. Франкевич // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2008. – № 4. – С. 34-42.
89. Ким, Л.В. Состояние и проблемы рационального использования земель сельскохозяйственного назначения в Амурской области [Текст] / Л.В. Ким, А.А. Назарова, А.А. Королева. Электронное научное издание «Ученые заметки ТОГУ» 2014, - Том 5, - № 4, - С. 796 – 802.
90. Кислов, А.А. Выбор устройств перераспределения веса в ходовой системе агрегата [Текст] / А.А. Кислов, О.А. Кузнецова, Е.Е. Кузнецов // Сельский механизатор. 2016. - № 6. - С.12-13.
91. Кожаберген, О.М. Разработка навесного фронтального плуга-рыхлителя для агрегатирования с тракторами тягового класса 5. [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / О.М. Кожаберген. – Саратов, 2017. – 163 с.
92. Коновалов, В.Ф. Динамическая устойчивость тракторов / В.Ф. Коновалов. – М.: Машиностроение, 1981. – 674 с.
93. Кононов, А.М. О воздействии ходовых систем тракторных агрегатов на почву / А. М. Кононов, И. П. Ксенович // Тракторы и сельхозмашины. – 1977. – № 4. – С. 5-7.

94. Кононов, А.М. Уплотнение почвы агрегатами / А.М. Кононов, В.А. Гарбар // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1973. – № 1. – С. 46-47.

95. Короткевич, П.С. Сопротивление почв резанию в зависимости от скорости движения и геометрии режущих рабочих органов. [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / П.С. Короткевич. - Киев, 1966. – 21 с.

96. Котельников, А.В. Разработка и обоснование циклоидальных штанговых рабочих органов для обработки почвы. [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.В. Котельников. – Курск, 2014. – 22 с.

97. Кочетов, И.С. Влияние почвозащитных технологий на проявление водной эрозии склоновых земель и урожайность культур / И.С. Кочетов [и др.]. - Электрон. текстовые данные // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии: Научно-теоретический журнал Российского государственного аграрного университета. - МСХА имени К.А. Тимирязева, 1997. – Вып. 1 - С.13-24. - Коллекция: Журнал «Известия ТСХА». - Режим доступа: <http://elib.timacad.ru/dl/full/03-1997-1.pdf>.

98. Краснощеков, Н.В. Машины для защиты почв от ветровой эрозии / Н.В. Краснощеков. – М: Россельхозиздат, 1972. – 224 с.

99. Кривуца, З.Ф. Повышение эффективности транспортно-технологического обеспечения АПК Амурской области. [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук / Е.С. Нестеров. – Благовещенск, 2015. – 362 с.

100. Ксеневиц, И.П. Ходовая система – почва – урожай / И.П. Ксеневиц, В.А. Скотников, М.И. Ляско. – М.: Агропромиздат, 1985. – 304 с.

101. Куваев, А.Н. Определение удельного сопротивления почвы при глубокой безотвальной обработке в условиях Северного Казахстана / А.Н. Куваев. // Тракторы и сельхозмашины, - № 4, 2020. – С. 45-52

102. Кузьмин Г.П., Спирин А.П. Новые почвозащитные машины / - Земледелие. - 1994. - № 11. – С. 53-56.

103. Кузнецов, Е.Е. Использование многоосных энергетических средств класса 1,4 [Текст]: Монография / Е.Е. Кузнецов, С.В. Щитов и др.//. ДальГАУ – Благовещенск, 2013. – 153 с.

104. Кузнецов Е.Е., Поликутина Е.С. Повышение продольно-поперечной устойчивости и снижение техногенного воздействия на почву колёсных мобильных энергетических средств: монография; ДальГАУ. – Благовещенск, 2020. – 148 с.

105. Кузнецов Е.Е., Щитов С.В., Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в технологии возделывания сельскохозяйственных культур: Монография. ДальГАУ-Благовещенск, 2017. - 272 с.

106. Кутьков, Г.М. Теория и тяговый расчет полноприводного трактора / Г.М. Кутьков, А.А. Соловейчик, М.В. Сидорова // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2014. – № 2. – С. 8-14.

107. Кутьков, Г.М. Тяговый расчет трактора тягово-энергетической концепции / Г. М. Кутьков, М. В. Сидоров // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – № 4. – С. 13-18.

108. Кутьков, Г.М. Тракторы и автомобили: теория и технологические свойства: учебник: для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям «Механизация сельского хозяйства» и «Технология обслуживания и ремонта машин агропромышленного комплекса»: соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту 3-го поколения. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: ИНФРА-М, 2014.-504, с.: ил.- (Бакалавриат).- Библиогр.: - С. 492-493 (24 назв.).- ISBN 978-5-16-006053-8. Шифр 14-2712 2 изд // Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. – 2014. – № 3. – С. 702. – EDN SQJCUJ.

109. Кушнарев А.Н. Повышение эффективности использования тракторно-транспортных агрегатов в технологии возделывания сельскохозяйственных культур: автореферат дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / А.Н. Кушнарев; – Благовещенск: Дальневост. гос. аграр. ун-т., 2021. – 22 с.

110. Лурье, А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов / А.Б. Лурье. – Л: Колосс, 1970. – 376 с.
111. Ляско, М.И. Влияние ходовых систем сельскохозяйственных тракторов на уплотнение почвы и урожайность ячменя / М.И. Ляско [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 1979. – № 12. – С. 4-6.
112. Маслов Г.Г., Дидманидзе О.Н., Цибулевский В.В. Оптимизация параметров и режимов работы машин методами планирования эксперимента: Учебн. пособие для сельскохозяйственных вузов. – М.:УМЦ «Триада», 2007. – 292 с.
113. Мелехов, В.Н. О влиянии изменения сцепного веса колёсного трактора на его тягово-сцепные показатели на почве повышенной влажности / В.Н. Мелехов // Труды Саратовского института механизации сельского хозяйства. – 1970. – Вып. 43. – С. 21-29.
114. Методика энергетического анализа технологических процессов в сельскохозяйственном производстве. – ВИМ, 1995. – 95 с
115. Методика топливно – энергетической оценки производства продукции растениеводства. – М.: ВИМ, 2012. – 84 с.
116. Методика и методология энергетической оценки агротехнологий в агроландшафтах. - М.: МСХА им. К.А. Тимирязева, 2007. – 21 с.
117. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. Ч. 2: Нормативно-справочный материал. – М., 1998. – 251 с.
118. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники. Ч. 1. – М., 1998. – 217 с
119. Методические рекомендации по топливно-энергетической оценке сельскохозяйственной техники, технологических процессов и технологий в растениеводстве. – М.: ВИМ, 1989. – 71 с.
120. Методические рекомендации по определению показателей энергоёмкости производства сельскохозяйственной продукции – М.: ВИЭСХ, 1990. – 93 с.

121. Министерство сельского хозяйства Амурской области, официальный сайт // Электронный ресурс] URL <http://www.agroamur.ru/>. Дата обращения 02.02.2024.

122. Министерство сельского хозяйства РФ, официальный сайт// [Электронный ресурс] URL <http://government.ru/department/59/events/http://www.agroamur.ru/>. Дата обращения 02.08.2024.

123. Мухин, А.А. Основы эксплуатации машинно-тракторного парка. [Текст]: Учебн. пособие для сельских проф.-техн. училищ и подготовки рабочих на производстве. / А.А. Мухин. – М.: «Высш. школа», 1973. - 432 с.

124. Нестеров, Е.С. Разработка комбинированного технологического процесса и почвообрабатывающего орудия для основной обработки почвы. [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Е.С Нестеров. – Саратов, 2011. – 197 с.

125. Немченко, ВВ. Системы обработки почвы и ее плодородие / ВВ. Немченко, О.В. Волынкина, В.Л. Дерябин // Агрехимический вестник - № 3. – 2022. – С.86-96.

126. О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия: Постановление Правительства РФ от 14.07.2012 № 717 (ред. от 06.04.2021) // КонсультантПлюс: [сайт]. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_133795/ (дата обращения 01.05.2021)

127. Онищук В.С. Комплексная характеристика почвенных ресурсов равнинных ландшафтов Приамурья / В.С. Онищук, А.Н. Панасюк. – Благовещенск: Издательство ДальГАУ, 2010. – 324 с.

128. Орлова, Л.В. Научно-практическое руководство по освоению и применению технологий берегающего земледелия / Л.В. Орлова, О.В. Терентьев, А.П. Цырулев и др. – AMAZONE ЕВРОТЕХНИКА, 2007. – 162 с.

129. Панасюк, А.Н. Энергетическое обоснование адаптивной технологии возделывания картофеля / А.Н. Панасюк // Механизация и электрификация технологических процессов в с.-х. производстве: Сб. науч. тр. – Благовещенск: ДальГАУ, 2010. – Вып. 17. – С. 59-66.

130. Пат. № 2769449 Российская Федерация, RU 2 769 449 С1. Фронтальный прокалыватель-щелерез / Р.О. Сурин [и др.] (РФ). - № 2021100256, заявл. 11.01.2021, опубл. 31.03.2022. - Бюл. - № 10. – 6 с.

131. Пат. № 2754595 Российская Федерация, RU 2 754 595 С1. Пунктирный прокалыватель-щелеватель / Р.О. Сурин [и др.] (РФ). - № 2020132907, заявл. 06.10.2020, опубл. 03.09.2021. - Бюл. - № 25. – 6 с.

132. Пат. № 213798 Российская Федерация, RU 213 798 U1. Фронтальный прокалыватель-щелерез со стабилизатором колебаний / Р.О. Сурин, А.В. Бурмага [и др.] (РФ). - № 2022106338, заявл. 9.03.2022, опубл. 29.09.2022. - Бюл. - № 28. – 6 с.

133. Пат. № 2797283 Российская Федерация, RU 2 797 283 С1. Почвообрабатывающий фронтальный комбинированный прокалывающе-прикатывающий агрегат / Р.О. Сурин, А.В. Бурмага [и др.] (РФ). - № 2022132363, заявл. 12.12.2022, опубл. 01.06.2023. - Бюл. - № 18– 6 с.

134. Пат. № 2791619 Российская Федерация, RU 2 791 619 С1. Автоматический регулятор глубины почвенной обработки для сельскохозяйственной техники / Р.О. Сурин [и др.] (РФ). - № 2022105576, заявл. 01.03.2022, опубл. 13.03.2023. - Бюл. - № 8– 6 с.

135. Петров, А.М. Результаты экспериментальных исследований снижения уплотняющего действия движителей тракторов применением поверхностно-демпфирующего слоя почвы / А.М. Петров, Р.Ю. Сысоева // Повышение управленческого, экономического, социального и инновационно-технического потенциала предприятий, отраслей и народнохозяйственных комплексов: сб. статей V международной научно-практической конференции. МНИЦ ПГСХА. – Пенза, 2013. – С.99-103.

136. Петровец, В.Р. Комбинированные агрегаты для возделывания зерновых культур / В.Р. Петровец, Н.В. Чайчиц // Тракторы и сельхозмашины, - 2009, - № 10. С.7-8.

137. Петухов, Д.А. Обоснование параметров и режимов многофункциональных посевных агрегатов. [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Д.А. Петухов. – Москва, 2016. – 20 с.

138. Плаксин, А.М. Снижение уплотнения почвы движителями МТА изменением массы трактора / А.М. Плаксин, А.П. Зырянов Т.П. Ишимов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. – № 8. – С. 22-24.

139. Плаксин, А.М. Энергетические показатели почвообрабатывающих агрегатов при различной массе трактора / А.М. Плаксин, А.П. Зырянов // Вестник ЧГАА. – 2008. – Т. 52. – С. 78-80.

140. Плишкин А.А., Блонштейн Э.В. Комплексная защита почв от ветровой эрозии. – М.: Колос, 1976. – 183 с.

141. Поликутина Е.С., Щитов С.В., Кузнецов Е.Е. Повышение производительности колёсных тракторов путём модернизации их ходовой системы // Техника и оборудование для села. - 2015. - № 6. - С.18-20.

142. Поликутина, Е.С. Повышение эффективности использования и снижение техногенного воздействия на почву средств механизации на полевых и транспортных работах. [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Е.С. Поликутина. – Благовещенск, 2017. – 133 с.

143. Портал Правительства Амурской области / <https://www.amurobl.ru/>

144. Редреев, Г.В. Обеспечение работоспособности разнородного парка тракторов в системе технического сервиса АПК: автореферат дис. доктора технических наук: 05.20.03 / Г.В. Редреев. – Новосибирск, 2019. – 89 с.

145. Русанов, В.А. Проблема переуплотнения почв движителями и эффективные пути ее решения / В. А. Русанов. – М.: ВИМ, 1968. –368 с.

146. Свид. РФ № 2022681520, Программа определения технологических параметров машинно-тракторного агрегата с фронтальным прокалывающим сельскохозяйственным орудием при движении по склоновым поверхностям / Р.О.

Сурин, А.В. Бурмага [и др.] (РФ). - № 2022681058, заявл. 07.11.2022, опубл. 15.11.2022.– 13 с.

147. Свид. РФ № 2022681522, Программа расчета динамических параметров машинно-тракторного агрегата с фронтальным прокальвателем-щелерезом / Р.О. Сурин, А.В. Бурмага [и др.] (РФ). - № 2022681056, заявл. 07.11.2022, опубл. 15.11.2022.– 13 с.

148. Свид. РФ № 2024688686, Программа для определения нагрузки на передний мост трактора с установленным прокальвателем-щелерезом / Р.О. Сурин [и др.] (РФ). - № 2024687978, заявл. 22.11.2024, опубл. 29.11.2024.– 13 с.

149. Свид. РФ № 2024688338, Программа для определения нагрузки на задний мост трактора с установленным прокальвателем-щелерезом / Р.О. Сурин [и др.] (РФ). - № 2024688022, заявл. 22.11.2024, опубл. 27.11.2024.– 13 с.

150. Свид. РФ № 2024688337, Программа для расчёта нагрузки, действующей на рабочий орган прокальвателя-щелереза / Р.О. Сурин [и др.] (РФ). - № 2024688018, заявл. 22.11.2024, опубл. 27.11.2024.– 13 с.

151. Селиванов, Н.И. Оценка тягово–сцепных свойств колёсного трактора К-701 / Н. И. Селиванова, В. С. Кирина, Р. А. Эбель // Вестник КрасГАУ. – 2007. – № 3. – С. 168-172.

152. Сельское хозяйство, охота и лесоводство в Амурской области / - Благовещенск, 2023.

153. Сельскохозяйственная техника / Каталог. - Том I. - М.: Информагротех, 1991. – 364 с.

154. Сенникова, Н. Н. Повышение эффективности использования машинно–тракторных агрегатов в сельскохозяйственном производстве Амурской области: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01: защищена 20.10.2010 / Н. Н. Сенникова; – Благовещенск: Дальневост. гос. аграр. ун-т., 2010. – 23 с.

155. Система земледелия Амурской области: производственно-практический справочник / под общ. ред. д-ра с.-х. наук, проф. П. В. Тихончука. – Благовещенск: Изд-во Дальневосточного ГАУ, 2016. – 570 с.

156. Слепенков, А.Е. Повышение эффективности использования машинно-тракторного агрегата при подготовке почвы под посев: автореф. дис. канд. техн. наук / А.Е. Слепенков. – Благовещенск: Дальневост. гос. аграр. ун-т., 2021. – 75 с.

157. Скурятин Н.Ф., Соловьев Е.В., Соловьёв С.В., Бондарев А.В. Методы оптимизации конструктивных и эксплуатационных параметров тракторных транспортно-технологических агрегатов: монография. - Москва; Белгород: ООО «Издательско-книготорговый центр Колосс», 2020. – 129 с.

158. Скурятин, Н.Ф. Исследование кинематики движения тракторного транспортного прицепного агрегата по пересеченной местности с тягово-догрузочным устройством/ Н.Ф. Скурятин, Е.В. Соловьев // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2014. – № 3(3). – С. 23–28.

159. Спириданчук, А.Б. Снижение величины прямых энергозатрат при обработке почвы / А.Б. Спириданчук, Н.В. Спириданчук, С.В. Щитов // Достижения науки и техники АПК. – 2014. – № 2. – С. 59-60.

160. Старовойтов, С.И. Обоснование параметров почвообрабатывающих рабочих органов для обработки суглинистых почв. [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук / С.И. Старовойтов. – Брянск, 2018. – 430 с.

161. Стеновский, В. С. Обоснование параметров движителя колёсного трактора для эксплуатации на негоризонтальной опорной поверхности: специальность 05.20.03 «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / В.С. Стеновский – Оренбург, 2014. – 18 с. – EDN ZPLZMV.

162. Сурин, Р.О. Влияние установки прокальвателя-щелевателя на распределение нормальных реакций почвы и нагрузки на движители полурамного трактора / Р.О. Сурин [и др.] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – № 2 (44). - 0,68 п.л. (0,44 Мб.) Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/2/st_217.pdf

163. Сурин, Р.О. Расчёт реакций конструкции фронтального прокалывателя-щелереза при работе на склонах / Р.О. Сурин [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2022. - № 2 (94). - С. 155–160 https://orensau.ru/images/stories/docs/izvestia/izvestia_94.pdf.

164. Сурин, Р.О. Определение тягового усилия колёсного полурамного энергетического средства с установленным фронтальным прокалывателем-щелерезом на уклоне / Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2022. - № 4 (96). - С. 117–122 <https://orensau.ru/images/stories/docs/izvestia/izvestia96.pdf>.

165. Сурин, Р.О. К вопросу обеспечения тракторной устойчивости агрегата с фронтально установленным прокалывателем-щелерезом / Р.О. Сурин [и др.] // Дальневосточный аграрный вестник. – Благовещенск: Дальневосточный ГАУ. - 2022. - Т. 16. - № 3. - С. 123–129. doi: 10.22450/199996837_2022_3_123.

166. Сурин, Р.О. Анализ современного состояния и направления модернизации сельскохозяйственного производства (на примере Амурской области) / Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2023. - № 1 (99). - С. 173–179 DOI 10.37670/2073-0853.

167. Сурин, Р.О. Повышение тягового усилия, развиваемого колёсным энергетическим средством, на почвах с высокой степенью липкости / Р.О. Сурин [и др.] // Известия Международной академии аграрного образования. 2023. - № 64 (2023). - С.48-52. <https://maaorus.ru/assets/files/journals/izvestiya-maaovypusk-64.pdf>.

168. Сурин, Р.О. Перспективные конструктивные схемы сельскохозяйственных машин для проведения полевой обработки почвы / Р.О. Сурин, А.В. Бурмага // 65-я Международная научная конференция Евразийского Научного Объединения ISSN 2411-1899 Теоретические и практические вопросы современной науки / Сборник научных работ 65-й Международной научной конференции Евразийского Научного Объединения (г. Москва, июль 2020). - № 7 2 (65). - М: ЕНО, 2020. - С.132-135 <https://esa-conference.ru/wp-content/uploads/2020/08/esa-july-2020-part2.pdf>.

169. Сурин, Р.О. Результаты исследований по влиянию прокальвателя-щелереза на перераспределение нагрузки между мостами трактора / Р.О. Сурин [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) – 2024. - 203 (09). – 9 с. Мб <http://ej.kubagro.ru/2024/09/pdf/01.pdf>.

170. Сурин, Р.О. Результаты экспериментальных исследований по определению влияния прокальвателя-щелереза на величину буксования и скорость движения трактора / Р.О. Сурин [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2024. - № 6 (110). - С. 110-116.

171. Сурин, Р.О. Повышение эффективности использования тракторов класса 5 при подготовке почвы под посев / Р.О. Сурин [и др.] // Вестник Брянской ГСХА. - 2024. - № 6 (106). - С. 60-63.

172. Сурин, Р.О. Применение фронтального комбинированного сельскохозяйственного агрегата в условиях зон рискованного земледелия / Р.О. Сурин [и др.] // Обеспечение технологического суверенитета АПК: подходы, проблемы, решения. Сборник статей Международной научно-практической конференции. – Екатеринбург: Уральский ГАУ, 2023. -С. 204-206.

173. Сурин, Р.О. Расчетная эффективность перспективного машинно-тракторного агрегата / Р.О. Сурин [и др.] // Актуальные вопросы энергетики в АПК. Материалы всероссийской (национальной) научно-практической конференции. - Благовещенск: Дальневосточный ГАУ, 2022. – С. 162–168.

174. Сурин Р.О. Обоснование выбора формы рабочих органов для фронтального прокальвателя-щелереза / Актуальные вопросы аграрной науки. - Иркутск: Иркутский ГАУ, - 2022. - № 44. - С.29-36.

175. Сурин, Р.О. Комбинированный посевно- почвообрабатывающий агрегат для зон рискованного земледелия / Р.О. Сурин [и др.] // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию. – Красноярск: ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, 2022. - С. 123-126.

176. Сурин, Р.О. Фронтальный прокалыватель-щелерез со стабилизатором колебаний / Р.О. Сурин [и др.] // Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования. Материалы XIV международной научно-практической конференции. – Новосибирск: Новосибирский ГАУ, 2022. - С. 177-180.

177. Сурин, Р.О. К вопросу снижения энергетических затрат при использовании комбинированной сельскохозяйственной машины на полевых работах / Р.О. Сурин [и др.] // Современные проблемы и пути развития технического сервиса в АПК. Материалы международной научно-практической конференции. - Минск: БГАТУ, 2022. – С.268-274.

178. Сурин Р.О. Перспективы развития колёсных полурамных энергетических средств в современном мире / Р.О. Сурин [и др.] // Технический сервис машин. 2022. - Т. 60. - № 2(147). - С.179-186. <http://vimtsm.ru/wp-content/uploads/2022/07/%E2%84%962-147-2022.pdf> DOI: 10.22314/2618-8287-2022-60-2-179-186.

179. Сурин, Р.О. Региональные особенности проведения обработки почвы в Амурской области / Р.О. Сурин [и др.] // Развитие современной аграрной науки: Актуальные вопросы, достижения и инновации. Материалы международной научно-практической конференции посвященной памяти заслуженного деятеля науки РФ, доктора сельскохозяйственных наук, профессора П. Г. Лучкова. - Нальчик: Кабардино-Балкарский ГАУ, 2024. - С. 278-282 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=65634809>.

180. Сурин, Р.О. Определение твёрдости почвы при использовании перспективного прокалывателя-щелереза в сельскохозяйственном производстве региона / Р.О. Сурин [и др.] // Агронаука, 2024. Том 2. № 3. - С. 52–58. <https://doi.org/10.24412/2949-2211-2024- 2-3-52-58>.

181. Сысоева, Р.Ю. Снижение уплотнения почвы разработкой и применением рыхлителя подповерхностно-демпфирующего слоя перед движителем трактора. [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Р.Ю. Сысоева. – Пенза, 2013. – 149 с.

182. Сюмак, А. В. Разработка технологии и средств механизации для возделывания сои и зерновых культур в системе биологического земледелия (в условиях Дальневосточного региона): специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / А. В. Сюмак – Москва, 2014. – 22 с. – EDN ZPMXBХ.

183. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Амурской области / Сельское хозяйство, охота и лесоводство в Амурской области. Статистический сборник по каталогу № 6.1. – Благовещенск, 2024.

184. Тряпицын, Д.А. Чизельные орудия с наклонными стойками рабочих органов / Тракторное и сельскохозяйственное машиностроение: Экспресс-информ. - М.: ЦНИИТЭИ, 1986. - Вып. 12. – 7 с.

185. Тряпицын, Д.А. Эффективность применения орудий типа «Параплау» при минимальной обработке почвы / Тракторное и сельскохозяйственное машиностроение: Экспрессинформ. – М.: ЦНИИТЭИ, 1986. – Вып. 12. – 22 с.

186. Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41449/page/1>.

187. Хафизов, К.А. Установление потерь урожая и основных причин их снижения от уплотнения движителями машинно–тракторных агрегатов по уходу за посевами / К. А. Хафизов, Р. Н. Федоров // Научное обеспечение инновационного развития АПК: материалы Всероссийской научно–практической конференции, посвященной 90-летию государственности Удмуртии, 16-19 февр. 2010 г. / ИжГСХА. – Ижевск, 2010. – Т. 3. – С. 43-48.

188. Ходыкин, В.Т. Методика исследования влияния движителей трактора МТЗ-80 на уплотнение почвы / В.Т. Ходыркин // Доклады ТСХА. – 1976. – вып. 224, Ч. 1, - С. 127-132.

189. Чернышкин, В.В. Совершенствование технологического процесса и почвообрабатывающего орудия для основной обработки почвы. [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / В.В. Чернышкин. – Саратов, 2013. – 184 с.

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

191. Шелепа А., Ким Л., Огороднова А., Узловенко Т. Прогноз развития сельского хозяйства на Дальнем Востоке на 2015-2020 гг. - Хабаровск, 2011.- 124 с.

192. Шенкнехт, Ю.И. Повышение эффективности применения прицепных почвообрабатывающих машинно-тракторных агрегатов за счет улучшения показателей их устойчивости и маневренности. [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Ю.И. Шенкнехт. – Барнаул, 2015. – 139 с.

193. Шуравин, А.А. Исследования опорных реакций тракторно-транспортного агрегата, оборудованного распределяющим тягово-сцепным устройством / А.А. Шуравин, А.Н. Кушнарев, В.В. Леонов, О.А. Кузнецова, С.В. Щитов // АПК РОССИИ. - 2021. - № 4(28). - С.498-505.

194. Щитов, С.В. Влияние класса тяги трактора на величину потерь энергозатрат от уплотнения почвы / С. В. Щитов, Н. В. Спириданчук, В. Ф. Кузин // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 1. – 110-114.

195. Щитов, С.В. Влияние перераспределения сцепного веса между мостами трактора на ширину захвата, буксование и производительность машинно-тракторного агрегата [Электронный ресурс] / С. В. Щитов, Е. Е. Кузнецов, Е. С. Поликутина // АгроЭкоИнфо: электрон. научно-производств. журн. – 2017. – № 1. – URL: <http://agroecoinfo.narod.ru/journal/> (дата обращения 24.08.2023).

196. Щитов, С.В. Влияние энергозатрат на выбор энергетического средства / С. В. Щитов, Н. В. Спириданчук, Е. С. Поликутина // Научное обозрение, – 2014. – № 8. – С. 535-538.

197. Щитов, С.В. Перераспределение сцепного веса в составе машинно-тракторного агрегата при проведении предпосевной обработки / С.В. Щитов [и др.] // Дальневосточный аграрный вестник. - 2017. - № 1 (41). - С.88-95.

198. Щитов, С.В. Пути повышения агротехнической проходимости колёсных тракторов в технологии возделывания сельскохозяйственных культур Дальнего Востока. [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук / С.В. Щитов. – Благовещенск, 2009. – 325 с.

199. Ямкова, В.А. География и история Амурской области в вопросах и ответах: учеб. пособие / В.А. Ямкова. – Благовещенск: Издательство БГПУ, 2015. – Часть 1. (Природа). – 232 с.

200. Macmillan R.H. The Mechanics of Tractor. / R.H. Macmillan – University of Melboure: Implement Performance, 2002.

201. Experimental studies of the effectiveness of the design for the cross-axle redistribution of the weight load of the car / S.V. Shchitov., Z.F. Krivutsa, O.A. Kuznetsova// International Journal of Applied Engineering Research (IJAER) ISSN 0973-4562 Volume 14, № 24 (2018) pp. 16747-16752 https://www.ripublication.com/ijaer18/ijaerv13n24_04.pdf.

202. Increasing the Efficiency of Transport and Technological Complexes Used in Crop Harvesting/ Shchitov S. V., Krivuca Z. F., Kurkov Yu. B., Burmaga A. V., Kuznetsov E. E., Mitrokhina O.P., Popova E. V.// Journal of Engineering and Applied Sciences, Year: 2018, Voiume:13, Issue:16.DOL:10.3923/jeasci.2018.6512.65.URL:http://docsdrive.com/pdfs/medwelljournals/jeasci/2018/6850-6854.pdf.

203. Surin R.O. Raising the efficiency of using tillage machines based on a semi-frame tractor / R.O. Surin [and others] // Modernization, Innovations, Progress: Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering (MIP: Engineering-IV) AIP Conf. Proc. 3021, 010001 (2024). Volume 3021, Issue 1 (29 March 2024) .p.7<https://doi.org/10.1063/5.0196715><https://pubs.aip.org/aip/acp/issue/3021/1>.

204. Surin R.O. Application of multi-criteria in the selection of running systems for regional use of tractors in agriculture / R.O. Surin [and others] // E3S Web of Conf. Volume 381, 01032 (2023). International Scientific and Practical Conference «Development and Modern Problems of Aquaculture» (AQUACULTURE 2022). - 1,72 Mб doi.org/10.1051/e3sconf/202338101032.

205. Surin R.O. Comparative characteristics of undercarriage systems as criteria for selecting a power tool for risky farming zones / R.O. Surin [and others] // E3S Web of Conferences. Volume 431 (2023). XI International Scientific and Practical Conference Innovative Technologies in Environmental Science and Education (ITSE-2023). - 2023. -2,198 Mб. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202343101002>. <https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2023/68/contents/contents.html>.

206. Surin R.O. The use of a combined agricultural unit on slitting and rolling in the conditions of the Amur region / R.O. Surin [and others] // Journal of Advanced Research in Technical Science. ISSN 2474-5901, SRC MS, Seattle: USA № 35, 2023. - C.88-92. <https://doi.org/10.26160/2474-5901-2023-35-88-92>.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Акты внедрения

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО
Дальневосточный ГАУ
П.В. Тихончук



10 2024 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Руководитель организации



2024 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ

Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ Начальник НИЧ Муратов АИ, профессор каф ЭИРТМик, д.т.н. Кузнецов ЕЕ, зав. каф ТХ и МАВ, д.т.н. Бураба АБ, ассистент Сурич Р.О. и представители Группы ИТ КРХ «Шветсов СК» Шветсов Сергей Николаевич.

составили настоящий акт о том, что в период 2023-2024 г.г. в результате проведения научно-исследовательских работ по теме:

Повышение эффективности использования полуавтоматических жергетных средств при подготовке почвы на колесных тракторах в процессе внедрения были выполнены следующие работы: Сравнительная испытательная машинно-тракторного оборудования в составе (К-700 и БДМ-6х4П) + фронтальный фокосекаватель-вердереж на колесных тракторах.

экономический эффект составил 117160 руб на 1 трактор (К700 + вердереж) за период 2023-2024 гг на колесных тракторах.

Предложения по дальнейшему внедрению результатов: использовать в технологии растениеводства КРХ «Шветсов СК»

Представители ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ
А.А. Муратов
Е.Е. Кузнецов
А.В. Бураба
Р.О. Сурич

Представители предприятия
С.К. Шветсов

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО
Дальневосточный ГАУ
П.В. Тихончук П.В. Тихончук

М.П. 2024 г.


«УТВЕРЖДАЮ»

Руководитель организации
М.А. Бондаренко
Александрович
М.А. Бондаренко
2024 г.
М.П.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ

Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ *Маламшик Н.И., Муратов Д.А., профессор каф. ЭИ РТТМ, р.т.н. Курдюков Е.Е., зав. каф. ТЭи. М.А.В. р.т.н. Вурмага Д.В., асп. Сурин Р.О.* и представители *ИПХ КРХ Бондаренко М.А.*
Бондаренко Николай Александрович

составили настоящий акт о том, что в период 2023-2024 г.г. в результате проведения научно-исследовательских работ по теме:

Повышение эррект. использования поуралных колесных энерг. средств при работ. полев. полев.
в процессе внедрения были выполнены следующие работы: *Сравнительные испытания машинно-тракторного агрегата (К-700 + БДМ - 6x4П) и К-700 с БДМ - 6x4П + фронтальной прокатыватель-узелерез на полевых работах.*

экономический эффект составил 135989 руб. на 1 трактор К-700А за период 2023-2024 на полевых работах.

Предложения по дальнейшему внедрению результатов: *использовать в технологии ракетного возврата КРХ Бондаренко М.А.*

Представители ФГБОУ ВО
Дальневосточный ГАУ
Д.А. Муратов
Е.Е. Курдюков
Д.В. Вурмага
Р.О. Сурин

Представители предприятия
М.А. Бондаренко
Александрович


«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО
Дальневосточный ГАУ
П.В.Тихончук

«10» 10 2024 г.
М.П.



«УТВЕРЖДАЮ»

Руководитель организации

И.В. Сухом Р.В.
Слава КФХ
(Сухом Р.В.)

«2» 02 2024 г.
М.П.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ

Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ Заместитель ЗНЧ Муратов А.А., профессор каф. ЗаРТИИ.Мик
дти Курдюмов Е.Е. аспирант Сухом Р.В.
и представители ИП Слава КФХ Сухом Р.В.
Сухом Иван Владимирович

составили настоящий акт о том, что в период 2023-2024 г.г. в результате проведения научно-исследовательских работ по теме:

Повышение эффективности использования колесных
экскаваторов при подготовке почвы под посев
в процессе внедрения были выполнены следующие работы:
Сравнительные испытания ИТТ А в составе (К-400 +
Б.Д.М) и (К-400 + Б.Д.М + фронт прокатыватель-щелерез)

экономический эффект составил 729713 руб на 1 ед. К400
за период 2023-2024 гг на полевых работах

Предложения по дальнейшему внедрению результатов: Использовать
в технологии растениеводства КФХ Сухом Р.В.

Представители ФГБОУ ВО
Дальневосточный ГАУ

А.А. Муратов
Е.Е. Курдюмов
Р.В. Сухом

Представители предприятия

И.В. Сухом
СТУХИМ
Р.В.М.
ВЛАДИМИРОВИЧ



«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО
«Дальневосточный ГАУ»
Тихомиров П.В.

«10» 10 2024 г.

М.П.



«УТВЕРЖДАЮ»

Руководитель организации



С.А. Мухомин
«10» 10 2024 г.

М.П.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ

Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный аграрный университет» *Молодых НИЧ Муратов С.А., проф. каф. ЭМРТМ и К, р.т.н Курмузов Е.Е., зав. каф. ТЭС и МДП р.т.н Бурмага А.В., асп. Суфрин Р.О.*

и представители *КФХ Мухомина С.А.*
Мухомин Сергей Фёдорович

составили настоящий акт о том, что в период *2023-2024* г.г. в результате проведения научно-исследовательских работ по теме:

Экономический эффект использования на полях колесных энерг. средств при подготовке почвы под посев

в процессе внедрения в производство были выполнены следующие работы:

Сравнительные испытания машинно-тракторной сцепки (к-700 и БДМ) и (к-700 + БДМ (протялка/взвешивание) на полях работ.

экономический эффект которых составил *119252 руб.* на *1* к-700 за период *2023-2024* г.г. на полях работ.

Предложения по дальнейшему внедрению результатов:

Рекомендовать *использовать* в технологии растениеводства *КФХ Мухомина С.А.*

Представители ФГБОУ ВО
Дальневосточный ГАУ
С.А. Муратов
Е.Е. Курмузов
А.В. Бурмага
Р.О. Суфрин

Представители предприятия
С.А. Мухомин

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО
Дальневосточный ГАУ
П.В.Тихончук



Тихончук
10 2024 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Руководитель организации
Губина КРХ, Лысенко АИ
А. Лысенко



2024 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ

Мы, нижеподписавшиеся, представители ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ *Начальник ИИУ Муратов АА, профессор каф. ЗИМТМик, г.т.п. Кузнецов ЕЕ, зав. каф. ТЭСМАВ, г.т.п. Бураганов АВ, аспирант Суриков Р.О.* и представители *Губина КРХ, Лысенко АИ*
Лысенко Александр Петрович

составили настоящий акт о том, что в период 2023-2024 г.г. в результате проведения научно-исследовательских работ по теме:

Повышение эффективности использования конструктивных элементов агрегатов при изготовлении новых конструкций
в процессе внедрения были выполнены следующие работы: *Сравнительная оценка эффективности МПА в составе (К-700+БВМ-6хУП) и (К-700+БВМ-6хУП+фронт-протекторная-защита) на колесных тракторах.*

экономический эффект составил 146450 руб на 1 трактор К-700+устройство за период 2023-2024 г.г. на колесных тракторах.

Предложения по дальнейшему внедрению результатов: *использовать в технологическом процессе производства КРХ, Лысенко АИ*

Представители ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ
Муратов АА
Кузнецов ЕЕ
Бураганов АВ
Суриков Р.О.

Представители предприятия
А. Лысенко

Патенты на изобретение и полезную модель



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2769449**Фронтальный прокалыватель-шелерез**

Патентообладатель: **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Дальневосточный государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ) (RU)**

Авторы: **Кузнецов Евгений Евгеньевич (RU), Щитов Сергей Васильевич (RU), Сурин Роман Олегович (RU), Панова Елена Владимировна (RU), Евдокимов Вячеслав Геннадьевич (RU), Муратов Алексей Александрович (RU)**

Заявка № 2021100256

Приоритет изобретения **11 января 2021 г.**Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретенийРоссийской Федерации **31 марта 2022 г.**Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **11 января 2041 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 213798

**Фронтальный прокальватель-щелерез
со стабилизатором колебаний**

Патентообладатели: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Дальневосточный государственный аграрный университет" (ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ) (RU)*

Авторы: *Кузнецов Евгений Евгеньевич (RU), Щитов Сергей Васильевич (RU), Сурин Роман Олегович (RU), Бурмага Андрей Владимирович (RU)*

Заявка № 2022106338

Приоритет полезной модели 9 марта 2022 г.
Дата государственной регистрации в
Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 29 сентября 2022 г.
Срок действия исключительного права
на полезную модель истекает 9 марта 2032 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2797283

**Почвообрабатывающий фронтальный
комбинированный прокалывающе-прикатывающий
агрегат**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Дальневосточный государственный аграрный университет" (RU)*

Авторы: *Кузнецов Евгений Евгеньевич (RU), Щитов Сергей Васильевич (RU), Сурин Роман Олегович (RU), Бурмага Андрей Владимирович (RU), Панова Елена Владимировна (RU), Муратов Алексей Александрович (RU)*

Заявка № 2022132363

Приоритет изобретения 12 декабря 2022 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 01 июня 2023 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 12 декабря 2042 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*



Документ подписан электронной подписью
Сертификат 425bba0fe3851364b996f83b73b4aa7
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 18.05.2023 по 02.06.2024

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2791619

**Автоматический регулятор глубины почвенной
обработки для сельскохозяйственной техники**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
Дальневосточный государственный аграрный университет
(ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ) (RU)*

Авторы: *Кузнецов Евгений Евгеньевич (RU), Сурин Роман
Олегович (RU), Григорьев Рафаэль Раимович (RU), Щитов
Сергей Васильевич (RU), Бурмага Андрей Владимирович
(RU), Кислов Андрей Александрович (RU)*

Заявка №: 2022105576
Приоритет изобретения 1 марта 2022 г.
Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 13 марта 2023 г.
Срок действия исключительного права
На изобретение истекает 1 марта 2042 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г. П. Ивлиев Г. П. Ивлиев



Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022681520

**Программа определения технологических параметров
машинно-тракторного агрегата с фронтальным
прокалывающим сельскохозяйственным орудием при
движении по склоновым поверхностям**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Дальневосточный государственный аграрный университет»
(ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ) (RU)*

Авторы: *Кузнецов Евгений Евгеньевич (RU), Щитов Сергей
Васильевич (RU), Сурин Роман Олегович (RU), Бурмага Андрей
Владимирович (RU)*

Заявка № **2022681058**
Дата поступления **07 ноября 2022 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **15 ноября 2022 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*


Ю.С. Зубов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022681522

**Программа расчёта динамических параметров
машинно-тракторного агрегата с фронтальным
прокальвателем-шелерезом**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Дальневосточный государственный аграрный
университет» (ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ) (RU)*

Авторы: *Кузнецов Евгений Евгеньевич (RU), Щитов Сергей
Васильевич (RU), Сурин Роман Олегович (RU), Бурмага
Андрей Владимирович (RU)*

Заявка № 2022681056

Дата поступления 07 ноября 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 15 ноября 2022 г.



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2024688337

Программа для расчёта нагрузки, действующей на рабочий орган прокалывателя-щелереза

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный аграрный университет» (RU)*

Авторы: *Щитов Сергей Васильевич (RU), Кривуца Зоя Федоровна (RU), Поликутина Елена Сергеевна (RU), Кузнецова Анастасия Андреевна (RU), Двойнова Наталья Федоровна (RU), Сурин Роман Олегович (RU)*

Заявка № 2024688018

Дата поступления **22 ноября 2024 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **27 ноября 2024 г.**



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

документ подписан электронной подписью
Сертификат: 009267636(00000004016706002006
Владелец: **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.07.2004 по 03.10.2025

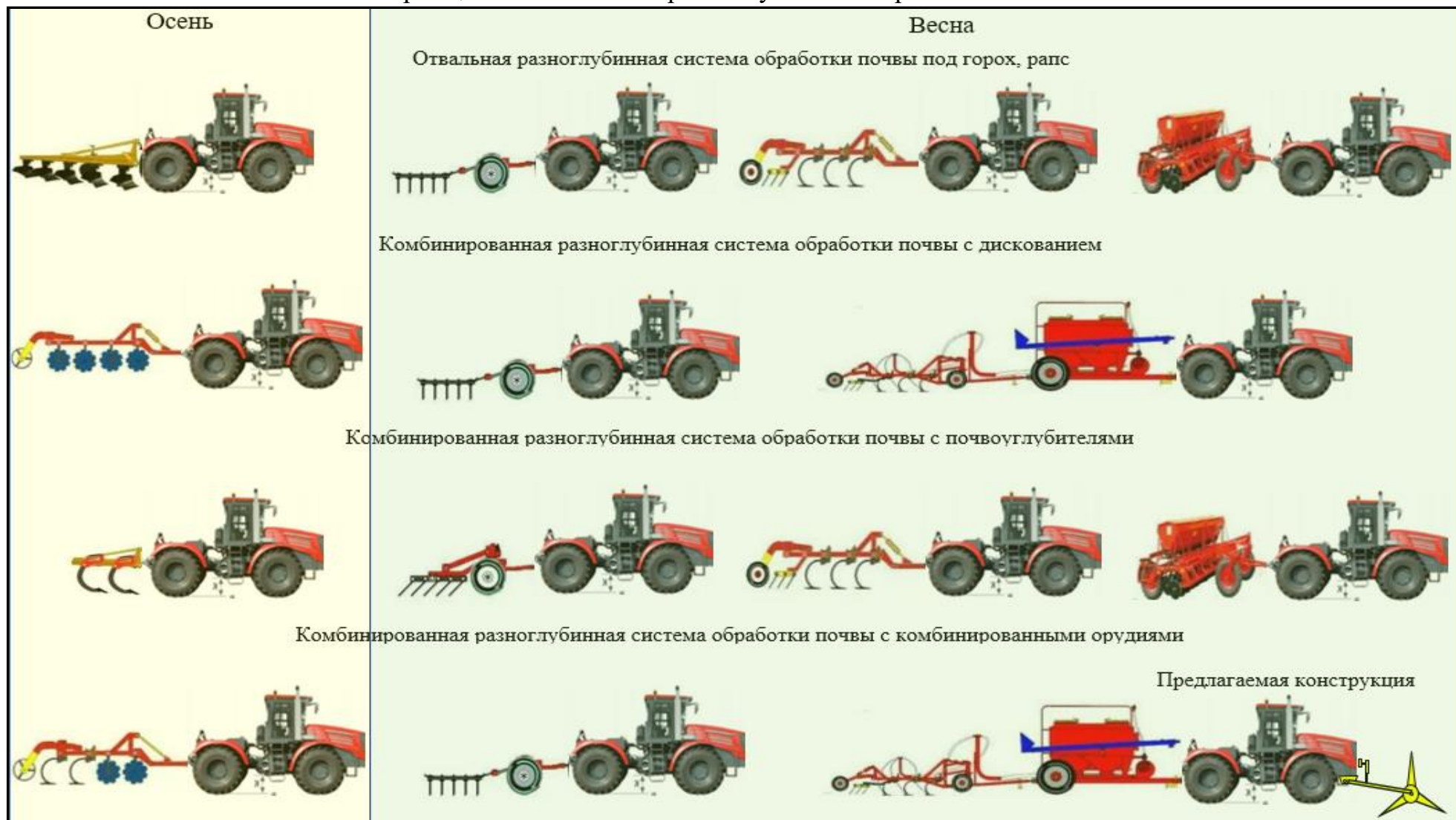
Ю.С. Зубов

Основные характеристики типов почв Южной зоны Амурской области [127]

Название почвы	Органические характеристики почвы					Механические характеристики почвы
	По мощности гумусового горизонта	По содержанию гумуса	Реакция почвы	Гидролитическая кислотность	Влагопроницаемость, подверженность эрозии	Содержание глины
Горно-тундровые почвы	маломощные (А -3...8 см)	среднегумусное и высокогумусное, составляет от 4 до 12 %	слабокислая (рН солевой вытяжки - 4.3...5,0)	4,3 мг-экв/100 г почвы	не переувлажняется, но сильно подвержена водной эрозии	суглинистая (60...20%), местами глинистая (90-70%)
Буро-таежные почвы	маломощные (А -4...10 см)	малогумусное и среднегумусное, составляет 2,7-6%	от слабо- до сильнокислой (рН солевой вытяжки - 4.5...5,7)	6 мг-экв/100 г почвы	сильное переувлажнение	тяжелосуглинистая (40...50%), реже суглинистая (60...20%)
Бурые лесные почвы	маломощные (А -6...8 см, реже - 10...12 см)	малогумусное, составляет 2,4...3,6%.	среднекислая (рН - 4,3...5,1 солевой вытяжки)	2,4...5,9 мг-экв/100 г почвы	не переувлажняется, но сильно подвержена водной эрозии	суглинистая (60...20%)
Луговые почвы	маломощные (А - менее 20 см)	малогумусное и среднегумусное, составляет 3,5...5,2%	кислая и среднекислая (рН солевой вытяжки - от 4,2 до 5,0)	5,9...9,5 мг-экв/100 г почвы	длительное переувлажнение, что приводит к ухудшению режима питания сельскохозяйственных культур.	глинистая (90...70%), реже - суглинистая (60...20%)
Лугово-черноземовидные почвы	мощные (горизонты А и АВ - более 30 см) среднемощные (А и АВ - 20...30 см) маломощные (А - менее 20 см)	высокогумусное (более 6% гумуса), среднегумусное (4...6 %) малогумусное (менее 4%)	слабокислая или близкая к нейтральной (рН солевой вытяжки - 4.5...5,2)	1,1...1,4 мг-экв/100 г почвы	плохая водопроницаемость, низкая влагоемкость, а также значительная глубина промерзания	среднесуглинистая (30...40%), местами тяжелосуглинистая (40...50%)
Пойменные почвы (аллювиальные)	маломощные (А - менее 20 см)	малогумусное и среднегумусное, составляет от 2 до 5 %	от сильнокислой до нейтральной (рН солевой вытяжки - 5.7...5,2)	13,6...25,3 мг-экв/100 г почвы	хорошо дренирована, быстро прогревается, переувлажняется слабо, но подвержена ветровой эрозии	среднесуглинистая (30...40%)

Название почвы	Органические характеристики почвы					Механические характеристики почвы
	По мощности гумусового горизонта	По содержанию гумуса	Реакция почвы	Гидролитическая кислотность	Влагопроницаемость, подверженность эрозии	Содержание глины
Горно-буротаежные почвы	маломощные (А -3...8 см)	среднегумусное и высокогумусное, составляет от 4 до 12 %	слабокислая (рН солевой вытяжки - 4.3...5,0)	4,3 мг-экв/100 г почвы	не переувлажняется, но сильно подвержена водной эрозии	суглинистая (60...20%), местами глинистая (90...70%)
Бурые лесные, глеевые	маломощные (А - менее 20 см)	малогумусное и среднегумусное, составляет 3,5...5,2%	кислая и среднекислая (рН солевой вытяжки - от 4,2 до 5,0)	5,9...9,5 мг-экв/100 г почвы	длительное переувлажнение, что приводит к ухудшению режима питания сельскохозяйственных культур.	глинистая (90...70%), реже – суглинистая (60...20%)



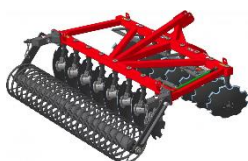
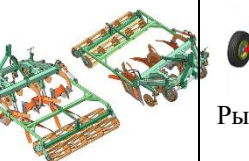





Принципиальная схема разноглубинной обработки почвы



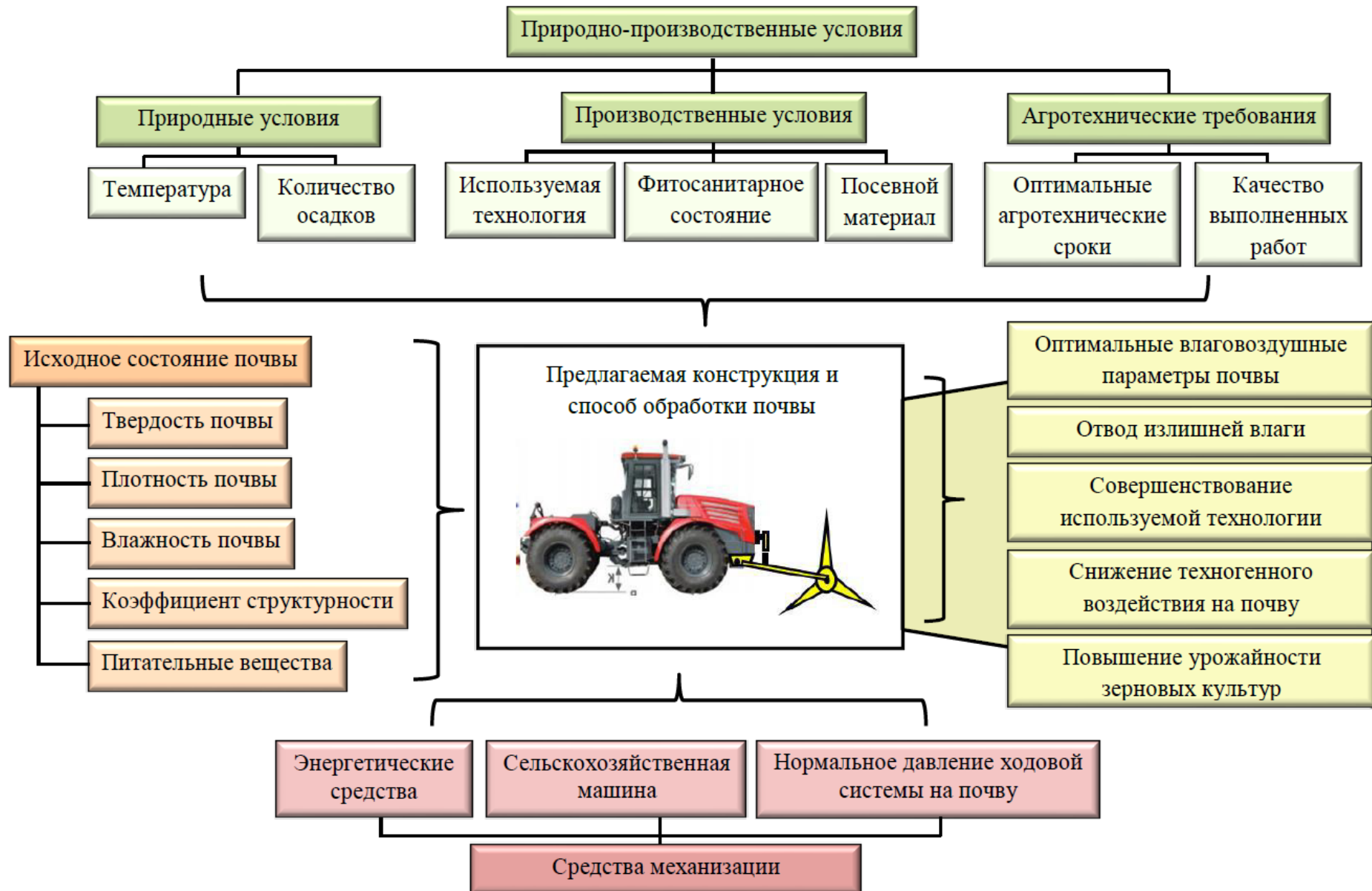
Способы глубокой обработки почвы с применением комбинированных сельскохозяйственных орудий в условиях поверхностного переувлажнения

Способ	<p>Кротование</p> 	<p>Щелевание</p> 	<p>Прокалывание Предлагаемая конструкция</p> 
Функция	улучшение водно-воздушного режима почвы, а также отвод избыточной влаги		
Характеристики почвы	суглинистые почвы	склоновые уплотненные тяжелые почвы	уплотненные тяжелые почвы
Периоды применения	предпосевная обработка почвы		предпосевная обработка почвы, посев
Принцип метода	предотвращает переувлажнение почвы	предотвращает переувлажнение верхнего слоя почвы и снижает эрозионные процессы, задерживает сток воды на склонах	предотвращает переувлажнение почвенного слоя
Приспособления используемые в Амурской области	навесные плуги: ПТН-3-40; ПТН-3-40А; ПНЯ-4-40; ПНЯ-6-40 и др.	комбинированные агрегаты УНС-5 и УНС-3; плоскорез-щелеватель комбинированный ПЩК-3,8; агрегат почвообрабатывающий комбинированный АПК-6; щелерез-кротователь РЩН-2-140; рыхлитель-щелеватель РЩ-0,80; щелеватель ЩН-4 и др.	пунктирный прокалыватель-щелеватель (патент на изобретение № 2754595 от 03.09.2021 г.); фронтальный прокалыватель-щелерез (патент на изобретение № 2769449 от 31.03.2022 г.)
Расположение	заднее	заднее	заднее, переднее
Энергетическое средство	колёсные и гусеничные трактора класса 3-5	колёсные и гусеничные трактора класса 5-8	
Рабочая скорость, км/ч	5,2... 6,1	7,2...10	до 8
Глубина обработки, см	40...50	50...70	60...80
Урожайность, %	повышается на 20...30	повышается на 50...75	
Недостатки	частые остановки МТА для очистки ножей и приспособлений		В процессе прокола формируется гряда, параллельная проколу, вследствие вырывания части плодородного слоя лучеобразными органами.

Классификация рабочих органов для основной обработки почвы

Технологии основной обработки почвы (способы обработки)								
Отвальная обработка		Безотвальная		Фрезерование		Комбинированная		
Типы рабочих органов								
Общего назначения	Специальные	Для гладкой вспашки	Чизельные	Плоскорежущие	Активные	Пассивные	Рабочие органы модульного типа	Многооперационные агрегаты
  Корпус плуга: Культурный; Полувинтовой; Скоростной; Винтовой; Дисковый; Цилиндрический; С дисковым отвалом; Прутковый; Щелевой; С рыхлительными элементами; С дооборачивателем.	 Корпуса плуга: Ярусного; Кустарниково-болотного; Плантажного; Виноградникового; Садового; Лесного; Мелиоративного; Для каменных почв.	 Корпус плуга: Линейного; Фронтального.	 Рыхлитель чизельного плуга; Щелерез; Кротователь; Комбинированная рыхлительная лапа; Дисковая рыхлительная лапа; Лапа со шнекообразным рыхлителем; Щелекротователь; Рыхлитель с долотообразными рыхлительными элементами; Прутковая рыхлительная лапа; Предлагаемый рабочий орган.	 Корпус для безотвальной вспашки; Плоскорежущая лапа.	 Рабочий орган ротационного плуга; Фрезерный рыхлитель; Фрезы для сплошной обработки почвы; Комбинированные фрезы.	 Отвальный корпус с почвоуглубителем; Рабочий орган ПРУН; Рабочий орган ПБС; Рабочий орган РАНЧО.	 Рядное расположение рабочих органов для выполнения различных операций.	
Назначение операции								
1, 2, 3, 4, 6		1, 2, 3, 4, 5		1, 3, 4		1,2,3,5		
1. Уничтожение сорняков 2. Повышение плодородия 3. Придание почве определенных физико-механических свойств 4. Борьба с водной и ветровой эрозией 5. Измельчение растительных остатков, органических удобрений 6. Запашка растительных остатков и органических удобрений								

Влияние предлагаемой конструкции на плодородный слой почвы и развитие сельскохозяйственных культур



Основной процесс обработки почвы

Агротехнический метод	Основная обработка	Поверхностная обработка (подготовка семенного ложа)	Посев
Обработка почвы плугом			
Безплужная обработка почвы		  	



Прямой посев
(нулевая
обработка)



Результаты хронометражных наблюдений

Показатели / состав МТА	$a_{ж}$, МДж/чел-ч	$n_{ч}$ чел	$W_{см}$ га/ч	H_T , кг/га;	a_T МДж/кг	f_T МДж/кг	K_T %	$K_{ТК}$	M_T кг	$C_{тр}$ МДж/кг	$T_{нт}$ ч	M_M кг	P_M МДж/кг	Φ_M %	$\Phi_{МК}$ %	$T_{нт}$ ч
К-700А +ПЩК-6,8	1,26	1	3,7	35,1	10	42,7	10	16,3	11800	120	890	2380	104	12,5	14,0	165
К-700А +ПГЧ-3	1,26	1	2,65	33,2	10	42,7	10	16,3	11800	120	890	860	104	12,5	14,0	165
К-700А + БДМ-6х4п	1,26	1	3,96	22,7	10	42,7	10	16,3	11800	120	890	4900	104	20	20	430
К-700А+устройство + БДМ-6х4п	1,26	1	3,91	23,6	10	42,7	10	16,3	11800	120	890	5050	104	20	20	430