Некоммерческое акционерное общество

Костанайский региональный университет имени А. Байтурсынова

УДК 631.311 На правах рукописи

**КУВАЕВ АНТОН НИКОЛАЕВИЧ**

**Обоснование параметров орудия для основной обработки уплотненных почв к трактору тягового класса 6**

6D080600 – Аграрная техника и технология

Диссертация на соискание степени

доктора философии (PhD)

Научные консультанты

доктор технических наук,

профессор

А.И. Дерепаскин

доктор технических наук,

профессор

Р.С. Рахимов

Республика Казахстан

Костанай, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

[**НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ** 5](#_Toc131948396)

[**ОПРЕДЕЛЕНИЯ** 6](#_Toc131948397)

[**ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ** 7](#_Toc131948398)

[**ВВЕДЕНИЕ** 10](#_Toc131948399)

[**1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА** 14](#_Toc131948400)

[**1.1 Характеристика почвенно-климатических условий северного региона Республики Казахстан** 14](#_Toc131948401)

[**1.2 Технологии производства сельскохозяйственных культур в условиях северного региона Республики Казахстан. Их достоинства и недостатки** 15](#_Toc131948402)

[**1.3 Способы разуплотнения почвы** 20](#_Toc131948403)

[**1.4 Рабочие органы для безотвальной обработки почвы, применяемые в почвенно-климатических условиях северного региона Казахстана** 25](#_Toc131948404)

[**1.5 Анализ существующих конструкций плоскорежущих рабочих   
органов** 30](#_Toc131948405)

[**1.6 Результаты существующих исследований по обоснованию значений основных конструктивных параметров плоскорежущих рабочих органов и обоснование выбора направления исследования** 45](#_Toc131948406)

[**1.7 Цель и задачи исследований** 53](#_Toc131948407)

[**1.8 Выводы по первому разделу** 54](#_Toc131948408)

[**2 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ ОРУДИЯ ДЛЯ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ УПЛОТНЕННЫХ ПОЧВ К ТРАКТОРУ ТЯГОВОГО КЛАССА 6** 55](#_Toc131948409)

[**2.1 Выбор расчетной модели почвенного слоя** 57](#_Toc131948410)

[**2.2 Математическая модель для определения напряжений, возникающих в почвенном слое под воздействием консольной части долота** 58](#_Toc131948411)

[**2.3 Определение длины консольной части долота для плоскорежущих рабочих органов с различной шириной захвата** 66](#_Toc131948412)

[**2.4 Математические модели для определения составляющих полного тягового сопротивления плоскорежущего рабочего органа и удельной конструктивной массы орудия** 68](#_Toc131948413)

[**2.5 Определение значений составляющих полное тяговое сопротивление плоскорежущего рабочего органа и значений удельной конструктивной массы орудия** 75](#_Toc131948414)

[**2.6 Обоснование ширины захвата почвообрабатывающего орудия** 80](#_Toc131948415)

[**2.7 Выводы по разделу** 87](#_Toc131948416)

[**3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ** 88](#_Toc131948417)

[**3.1 Программа экспериментальных исследований** 88](#_Toc131948418)

[**3.2 Технические средства, применяемые при проведении экспериментальных исследований** 88](#_Toc131948419)

[**3.3 Средства измерений и оборудование, применяемое при проведении экспериментальных исследований** 90](#_Toc131948420)

[**3.4 Методика проведения экспериментальных исследований** 90](#_Toc131948421)

[3.4.1 Определение условий экспериментальных исследований 90](#_Toc131948422)

[3.4.2 Методика определения коэффициентов, входящих в разработанные математические модели (удельное сопротивление почвы и удельное сопротивление почвы объемной деформации) 91](#_Toc131948423)

[3.4.3 Методика оценки влияния конструктивных параметров плоскорежущего рабочего органа (ширина захвата и длина консольной части долота) и удельной конструктивной массы орудия на агротехнические и энергетические показатели 95](#_Toc131948424)

[3.4.4 Методика экспериментальных исследований по уточнению ширины захвата почвообрабатывающего орудия 99](#_Toc131948425)

[3.4.5 Методика математической обработки результатов измерений 100](#_Toc131948426)

[3.4.6 Оценка погрешности измерений 103](#_Toc131948427)

[3.4.6.1 Оценка систематической погрешности тензометрического оборудования, применяемого при экспериментальных исследованиях ЛПУ и образца орудия 105](#_Toc131948428)

[**3.5 Выводы по разделу** 106](#_Toc131948429)

[**4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВАРИАНТОВ ПЛОСКОРЕЖУЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ И ОРУДИЯ ДЛЯ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ УПЛОТНЕННЫХ ПОЧВ** 107](#_Toc131948430)

[**4.1 Условия проведения экспериментальных исследований** 107](#_Toc131948431)

[**4.2 Оценка влияния конструктивной массы орудия на заглубление и равномерность движения плоскорежущего рабочего органа на заданной глубине обработки** 107](#_Toc131948432)

[**4.3 Оценка влияния конструктивных параметров плоскорежущего рабочего органа на агротехнические и энергетические показатели   
работы** 110](#_Toc131948433)

[4.3.1 Оценка влияния конструктивных параметров плоскорежущего рабочего органа на крошение почвенного слоя 110](#_Toc131948434)

[4.3.2 Оценка влияния конструктивных параметров плоскорежущего рабочего органа на сохранность стерни и пожнивных остатков 117](#_Toc131948435)

[4.3.3 Оценка влияния конструктивных параметров плоскорежущего рабочего органа на создаваемое ими тяговое сопротивление 122](#_Toc131948436)

[**4.4 Результаты экспериментальных исследований по уточнению ширины захвата почвообрабатывающего орудия** 126](#_Toc131948437)

[**4.5 Выводы по разделу** 129](#_Toc131948438)

[**5 РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НОВОГО ОРУДИЯ ДЛЯ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ УПЛОТНЕННЫХ ПОЧВ** 131](#_Toc131948439)

[**5.1 Расчет экономической эффективности применения нового орудия для основной обработки уплотненных почв** 131](#_Toc131948440)

[**5.2 Выводы по разделу** 133](#_Toc131948441)

[**ЗАКЛЮЧЕНИЕ** 135](#_Toc131948442)

[**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ** 137](#_Toc131948443)

[**ПРИЛОЖЕНИЕ А**](#_Toc131948444) [Результаты тензометрирования лабораторно-полевой установки с вариантами двугранных клиньев на различных скоростных режимах 149](#_Toc131948445)

[**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**](#_Toc131948446) [Определение площадей зон интерференции деформации почвенного слоя 150](#_Toc131948447)

[**ПРИЛОЖЕНИЕ В**](#_Toc131948448) [Средства измерений и оборудование, применяемое при проведении экспериментальных исследований 161](#_Toc131948449)

[**ПРИЛОЖЕНИЕ Г**](#_Toc131948453) [Условия проведения экспериментальных исследований 166](#_Toc131948454)

[**ПРИЛОЖЕНИЕ Д**](#_Toc131948455) [Исходные данные для проведения экономической оценки и экономические показатели работы агрегатов.](#_Toc131948456)

[**ПРИЛОЖЕНИЕ Е**](#_Toc131948457) [Акт внедрения результатов диссертационной работы (копия) 171](#_Toc131948458)

[**ПРИЛОЖЕНИЕ Ж**](#_Toc131948459) [Справка об использовании научных результатов диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) в деятельности КФ ТОО «НПЦ агроинженерии» (копия) 172](#_Toc131948460)

[**ПРИЛОЖЕНИЕ И**](#_Toc131948461) [Патент на изобретение Республики Казахстан (копия) 173](#_Toc131948462)

# НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты:

**СТ РК ГОСТ Р 53056-2010.** Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки.

**ГОСТ 20915-2011.** Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний.

**ГОСТ 24055-88.** Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки. Общие положения.

**ГОСТ 26025-83.** Машины и тракторы сельскохозяйственные и лесные. Методы измерения конструктивных параметров.

**ГОСТ 33736-2016.** Техника сельскохозяйственная. Машины для глубокой обработки почвы Методы испытаний.

**ГОСТ Р 8.736-2011.** Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения.

**ГОСТ Р 52777-2007.** Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки.

# ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей диссертации применяют следующие термины с соответствующими определениями:

**Обработка почвы** – воздействие на почву рабочими органами машин и орудий с целью улучшения почвенных условий жизни сельскохозяйственных культур и уничтожения сорняков;

**Основная обработка почвы** – наиболее глубокая сплошная обработка почвы под сельскохозяйственную культуру;

**Безотвальная обработка почвы** – обработка почвы без оборачивания обрабатываемого слоя;

**Плоскорезная обработка почвы** – безотвальная обработка почвы плоскорежущими рабочими органами с сохранением большей части послеуборочных остатков на ее поверхности;

**Уплотнение почвы** – увеличение насыпной плотности или уменьшение пористости почвы из-за внешних нагрузок;

**Крошение почвы** – технологическая операция, обеспечивающая уменьшение размеров почвенных структурных отдельностей;

**Качество обработки почвы** – совокупность показателей, характеризующих соответствие состояния почвы после ее обработки агротехническим требованиям;

**Деформация** – изменение взаимного положения частиц тела, связанное с их перемещением друг относительно друга за счет приложения усилия, при котором тело искажает свои формы;

**Интерференция –** увеличение результирующего напряжения от двух или более взаимосвязанных источников при их наложении друг на друга.

# ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

НПЦ агроинженерии - Научно-производственный центр агроинженерии;

НПЦЗХ им. А.И. Бараева – Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А. Бараева;

ВИМ – Всесоюзный институт механизации;

КазНИИМЭСХ – Казахский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства;

ЦелинНИИМЭХ – Целинный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства.

- коэффициент интерференции, %;

–площадьзоны интерференции деформации почвенного слоя, м2;

- площадь почвы, обрабатываемой плоскорежущим рабочим органом, м2;

- ширина захвата плоскорежущего рабочего органа, м;

- расстояние от дневной поверхности до режущей грани лемехов, м;

*γ -* угол рабочей поверхности клина (угол раствора), град.;

- угол трения почвы по стали, град.;

*h –* высота клина, м;

- угол трения сорного растения по металлу, град.;

- коэффициент трения почвы по стали;

- длина консольной части долота, м;

- длина долота (общая), м;

– ширина долота, м;

- угол постановки долота ко дну борозды, град;

- длина заблокированной части долота, м;

- напряжение, возникающее в почвенном слое в результате воздействия консольной части долота, Па;

– предел прочности почвенного слоя при преобладающем виде деформации, Па;

- тяговое усилие, приложенное к консольной части долота, Н;

- равнодействующая общего тягового сопротивления, оказываемого почвой при движении консольной части долота, Н;

- сопротивление, возникающее при износе консольной части долота и образовании у не го затылочной фаски, Н;

- сопротивление, возникающее при разрушении (деформации) почвенного монолита на отдельные составляющие, Н;

- сопротивление, обусловленное весом почвенного пласта, находящегося на клине (статическое сопротивление), Н;

- сопротивление, обусловленное инерцией почвенного пласта, находящегося на клине (динамическое сопротивление), Н;

- плотность почвенного слоя, кг/м3;

- ускорение свободного падения, кгм/с2;

- высота почвенного слоя, находящегося на клине, м;

- объем почвенного слоя, подвергающейся деформации, м3;

- удельное сопротивление почвы объемной деформации, Н/м3;

- горизонтальная составляющая удельного сопротивления почвы объемной деформации, Н/м3;

- вертикальная составляющая удельного сопротивления почвы объемной деформации, Н/м3;

– сила, затрачиваемая на преодоление трения, возникающего при движении закрепленного на раме почвообрабатывающего орудия плоскорежущего рабочего органа в почвенном слое, Н;

- сила, затрачиваемая на преодоление сопротивления, возникающего при воздействии рабочего органа на обрабатываемый почвенный слой, Н;

- сила, затрачиваемая на преодоление инерции почвенного слоя и придании ему определенной скорости движения, Н;

- результирующая общего тягового сопротивления трехгранного клина, Н;

- результирующая общего тягового сопротивления двугранного клина, Н;

- сопротивление, возникающее при износе трехгранного клина и образовании у не го затылочной фаски, Н;

- сопротивление, возникающее при разрушении (деформации) почвенного монолита на отдельные составляющие трехгранным клином, Н;

- сопротивление, обусловленное весом почвенного пласта, находящегося на трехгранном клине (статическое сопротивление), Н;

- сопротивление, обусловленное инерцией почвенного пласта, находящегося на трехгранном клине (динамическое сопротивление), Н;

- площадь зоны разрушения почвенного слоя, м2;

- площадь зона целостной почвы, для которой выполняется условие;

- вес закрепленного на раме почвообрабатывающего орудия плоскорежущего рабочего органа, Н;

- фактическая удельная конструкционная масса почвообрабатывающего орудия, кг/м;

- ширина режущей кромки, м;

αЗ - угол заглубления рабочих органов, град.;

- масса одного рабочего органа, кг.;

- расстояние междустойкам рабочих органов, м;

- удельная конструктивная масса 1 метра продольного бруса, кг/м;

- удельная конструктивная масса 1 метра поперечного бруса, кг/м;

- ширина захвата орудия, м;

- общее тяговое сопротивление почвообрабатывающего орудия, Н;

- сопротивление, затрачиваемое на разрушение и перемещение почвенного пласта (полезное сопротивление), Н;

- сопротивление перемещению рабочих органов почвообрабатывающей машины (холостое сопротивление), Н;

- сопротивление, учитывающее скоростной режим работы почвообрабатывающего орудия, Н;

- вес орудия, Н; - тяговое усилие энергетического средства (сила тяги на крюке трактора), Н;

- мощность, необходимая для обеспечения тягового усилия энергетического средства (крюковая мощность трактора), Вт

- коэффициент запаса тягового усилия трактора;

- тяговый КПД трактора;

- сила тяги на ведущих колесах трактора (касательная сила тяги), Н;

- коэффициент нагрузки ведущих колес (для тракторов с колесной формулой 4К4 );

- коэффициент сцепления, допускаемый по условиям сцепления и агротехническим требованиям;

- эксплуатационная масса трактора, кг;

- коэффициент возможной перегрузки;

- сила сопротивления качению трактора, Н

- коэффициент, трения качения трактора;

– удельный расход топлива, г/кВт·ч;

- буксование трактора;

- среднее арифметическое значение измеряемой величины, ед.

- значение единичного измерения (варианта), ед.;

- общее число измеренных значений (повторность);

- сомнительный результат измерений, ед.;

- критерий Стьюдента;

- ошибка выборочной средней (ошибка выборки), ед.; - приведенная погрешность средства измерения (указана в паспорте), %;

- предел измерения используемого средства измерения, ед.;

– относительная систематическая погрешность приборов, используемых при тарировке, %;

- относительная систематическая погрешность цифровой станции, обрабатывающей входной сигнал датчика, %;

- относительная систематическая погрешность тензометрической плиты, %;

- относительная систематическая погрешность от нелинейности тарировочной зависимости, %

# ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность исследования.**

Национальный проект по развитию агропромышленного комплекса Республики Казахстан на 2021-2025 годы одой из своих задач ставит создание условий для эффективного использования земельных ресурсов, что, в конечном счете, должно обеспечить рост валовой продукции сельского хозяйства не менее чем на 30%.

В свою очередь эффективное использование земельных ресурсов невозможно без учета зональных особенностей конкретной природной зоны.

По своему географическому положению Северный Казахстан относится к региону, подверженному ветровой эрозии. Кроме того особенностью почв данного региона является их склонность к самоуплотнению. Два этих фактора способствуют применению основной обработки почвы, при которой значительная часть растительных остатков остается на поверхности поля и происходит разуплотнение пахотного слоя. Разработанная в 60-70-е годы ХХ века почвозащитная система земледелия, основу которой составляла обработка почвы без оборота верхнего слоя, позволила предотвратить массовое распространение ветровой эрозии почвы и одновременно получать относительно стабильные и высокие урожаи. Отказ от почвозащитной системы земледелия в пользу минимальной и нулевой технологий, которые не предусматривают глубоких механических обработок, привел к повышению твердости и плотности почвы, что, в свою очередь, негативно сказывается на росте и развитие сельскохозяйственных растений. Поэтому в последние несколько лет наметились тенденции к возобновлению глубокой обработки стерневых и паровых полей.

При обработке почвы с повышенной твердостью существующие конструкции рабочих органов для глубокой безотвальной обработки имеют ряд недостатков – низкая сохранность стерни, заделка измельченных растительных остатков в поверхностный слой почвы, наличие крупных почвенных комков на поверхности поля. Это не позволяет сохранить достаточное количество снега на поверхности поля, сохранить в почве уже накопленную влагу в весенний период, качественно провести посевные работы без дополнительных обработок в весенний период.

Анализ существующих конструкций почвообрабатывающих рабочих органов для безотвальной обработки показал, что в рассматриваемых почвенно-климатических условиях наиболее применимы с точки зрения соблюдения агротехнических требований именно плоскорежущие рабочие органы.

Из существующих рабочих органов обеспечивает требуемое качество обработки плоскорежущий рабочий орган типа РСП, однако, скорость его движения в этом случае не должна превышать 1,7 м/с. Работа с такой скоростью существенно снижает производительность агрегата, увеличивает погектарный расход топлива, затраты труда. Как следствие, возрастают совокупные затраты денежных средств на выполнение данной операции.

Выявленное противоречие является актуальной для северного региона Республики Казахстан научной проблемой, поскольку ее решение позволит сохранить качество обработки уплотненных стерневых фонов на требуемом уровне при одновременном повышении производительности.

Учитывая это, а также то, что посевная площадь данного региона составляет более 9 млн. га и для проведения полевых работ используются энергонасыщенные тракторы тягового класса 6 с мощностью двигателя 370-400 л.с., создание орудия для основной обработки уплотненных почв к тракторам тягового класса 6 является актуальным для северного региона Республики Казахстан.

**Цель исследований** – повышение производительности не менее чем на 10% на основной обработки уплотненных почв за счет создания орудия к трактору тягового класса 6.

Для достижения поставленной цели при проведении исследований ставились следующие **задачи**:

1. Разработать математические модели для определения напряжений, возникающих в почвенном слое под воздействием консольной части долота и для определения тягового сопротивления плоскорежущего рабочего органа и орудия в целом.

2. Обосновать основные параметры плоскорежущего рабочего органа и орудия для основной обработки уплотненных почв.

3. Выявить закономерность изменения агротехнических, энергетических и эксплуатационно-технологических показателей в зависимости от обоснованных параметров плоскорежущего рабочего органа, орудия и скорости движения.

4. Оценить экономическую эффективность применения нового орудия для основной обработки уплотненных почв в сравнении с существующим аналогом.

**Объектом исследований** являлся технологический процесс взаимодействия плоскорежущего рабочего органа с почвенным слоем.

**Предметом исследований** являлись закономерности изменения агротехнических и энергетических показателей плоскорежущего рабочего органа и орудия в целом от значения его конструктивных параметров и режима работы.

**Методы исследований.**

Теоретические исследования базировались на положениях классической механики, механики сплошной среды и земледельческой механики. Экспериментальные исследования выполнены по стандартным и частным методикам, в основу которых положены действия действующей нормативной документации актуализированной в Республике Казахстан.

Экспериментальные исследования выполнялись в полевых условиях на лабораторно-полевой установке и образце орудия для основной обработки уплотненных почв.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований обрабатывались с помощью современных средств статистической обработки данных.

**Научная новизна исследований**

- разработаны математическая модель и графоаналитический метод для определения напряжений, возникающих в различных точках рассматриваемого почвенного слоя под воздействием консольной части долота;

- разработана математическая модель для нахождения тягового сопротивления консольной части долота;

- разработана математическая модель для определения составляющих полного тягового сопротивления плоскорежущего рабочего органа и удельной конструктивной массы орудия;

- разработана математическая модель для нахождения тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия и ширины его захвата;

- найдена количественная зависимость между длиной консольной части долота и площадью зоны интерференции деформации почвенного слоя;

- найдена количественная зависимость между длиной консольной части долота и шириной захвата плоскорежущего рабочего органа, при которой коэффициент интерференции соответствует эталонному значению.

**Положения, выносимые на защиту:**

- математическая модель и графоаналитический метод для определения напряжений, возникающих в различных точках рассматриваемого почвенного слоя под воздействием консольной части долота;

- обоснованные длина консольной части долота и ширина захвата плоскорежущего рабочего органа;

- обоснованная удельная конструктивная масса, ширина захвата орудия и скорость движения агрегата;

-агротехнические, энергетические, эксплуатационно-технологические и экономические показатели работы орудия с обоснованными параметрами.

**Практическая ценность и реализация результатов исследований**:

Диссертационная работа выполнена в рамках выполнения работ по бюджетной Программе 255 «Создание условий для развития производства. Переработки, реализации продукции растениеводства по подпрограмме 106 «Программно-целевое финансирование научных исследований и мероприятий в растениеводстве» по мероприятию «Разработка орудия для основной обработки уплотненных почв к трактору тягового класса 6 в технологиях органического земледелия» (№ государственной регистрации 0115РК02383, инвентарный номер заключительного отчета 0217РК00267).

Образец орудия для основной обработки уплотненных почв внедрен в АО «Заря» Мендыкаринского района Костанайской области.

Результаты диссертационной работы использованы при разработке серии орудий для глубокой плоскорезной обработки почвы к энергонасыщенным тракторам в КФ ТОО «НПЦ агроинженерии».

**Апробация работы.**

Основные положения диссертационной работы докладывались на:

- международной научно-практической конференции «Байтурсыновские чтения» в КГУ им. А. Байтурсынова (Республика Казахстан, 2018 год);

- международной научно-практической конференции посвященной 75-летию Курганской ГСХА имени Т.С. Мальцева в Курганской ГСХА (Российская Федерация, 2019 год);

- международной научно-практической конференции «Аграрная наука в условиях модернизации и цифрового развития АПК России» в Курганской ГСХА (Российская Федерация, 2022 год).

**Публикации.**

По теме диссертационной работы опубликовано 10 научных трудов, в том числе в материалах международных научно-практических конференций – 3 работы; в научных изданиях рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК – 6 работ, в научных изданиях, входящих в базу данных Scopus – 1 работа.

**Структура и объем диссертации.**

Диссертационная работа изложена на 175 страницах, содержит 60 рисунков, 21 таблицу и 8 приложений. Список использованных источников включает 178 наименований.

# 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

## 1.1 Характеристика почвенно-климатических условий северного региона Республики Казахстан

В состав северного региона Республики Казахстан входят  четыре области: [Северо-Казахстанская,](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B5%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%BE-%D0%9A%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D1%85%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C) [Костанайская](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C) , [Павлодарская](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%BE%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C) и [Акмолинская.](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BA%D0%BC%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C) Площадь данного региона более 550 тыс. км2. Самой крупной административно-территориальной единицей является Костанайская область - более 30% территории.

Регион отличается довольно суровым резко континентальным климатом с жарким летом и морозной зимой.

Устойчивый снежный покров в северной части региона удерживается в течение 5-5,5 месяцев, в южной части – 4-4,5 месяцев [1]. В зимний период выпадает 70-100 мм осадков, что составляет примерно 1/3 часть годовой суммы. В период от схода снега до посева сельскохозяйственных культур количество выпадающих осадков составляет 30-50 мм, 2/3 от общего количества осадков приходится на теплый период года – с апреля по октябрь.

Распределение осадков за теплый период года на примере Костанайской области представлено в соответствии с рисунком 1.1 [2].

|  |  |
| --- | --- |
| C:\Users\Anton\Desktop\чсыв.jpg |  |
|  | |
| Рисунок 1.1 - Сумма осадков за теплый период года в Костанайской области | |

Данные многолетних наблюдений [1] говорят о том, что каждый второй год в данном регионе бывает засушливым с высокими дневными температурами более +30 оС и низкой относительной влажностью – не более 40%. Дефицит влаги составляет 500-800 мм. Наибольший вред посевам сельскохозяйственных культур приносит июньская июльская засуха, поскольку именно в этот период растения проходят самые ответственные фазы своего развития.

Основным лимитирующим фактором, определяющим рискованность ведения сельского хозяйства в Северном Казахстане, является недостаточность и неустойчивость влагообеспечения территории. По этому показателю весь регион делится на три зоны: засушливую, очень засушливую и сухую [1].

На территории Северного Казахстана встречаются все основные типы почв. В направлении с севера на юг можно выделить следующие типы почв: черноземы, каштановые и бурые, солонцы, солончаки и солоди, пойменные почвы (в долинах рек).

На черноземных почвах размещается около 60 % сельскохозяйственных угодий, на каштановых – около 40 % [1].

По механическому составу наиболее распространенными являются тяжелосуглинистые (50,7 %) и среднесуглинистые (21,2 %) почвы [3,]. В разрезе областей по механическому составу почвы распределены следующим образом [1]: в Акмолинской, Костанайской и Северо-Казахстанской областях тяжелосуглинистые почвы составляют 52,1-67,2 % от общей площади почв сельскохозяйственного назначения, в Павлодарской области тяжелосуглинистые почвы составляют 14,3 %, наиболее распространенными являются среднесуглинистые почвы – 31,1 %.

Основная часть почв сельскохозяйственного назначения (более 80%) является средне и малогумусированными с содержанием гумуса в гумусовом горизонте не более 3-5% [4].

Равнинный рельеф местности и значительное число (больше 70%) ветреных дней в году, когда скорость ветра превышает 5 м/с, относят Северный Казахстан к региону, который подвержен ветровой эрозии почвы.

Для получения устойчивых и высоких урожаев сельскохозяйственных культур в Северном Казахстане применяемые технологи возделывания должны учитывать почвенно-климатические особенности данного региона.

## 1.2 Технологии производства сельскохозяйственных культур в условиях северного региона Республики Казахстан. Их достоинства и недостатки

Центральным звеном любой технологи производства сельскохозяйственных культур являются применяемые системы севооборотов.

Поскольку основным направлением деятельности сельского хозяйства северного Казахстана является производство зерновых (яровая пшеница, ячмень, овес) и масличных культур [5, 6] в системе севооборотов максимальные площади отводятся под выращивание именно этих сельскохозяйственных культур.

С учетом региональных и природно-климатических особенностей рассматриваемого региона в середине ХХ века для получения высоких урожаев и защиты почв от ветровой эрозии коллективом ученых ВНИИЗХ под руководством Бараева была разработана и внедрена почвозащитная технология. Основу данной технологии составляют зернопаровые обороты [7]. В полевых севооборотах для лесостепной черноземной зоны удельный вес пара от площади пашни может составлять до 20%, в степной - 25 %, в сухостепной с каштановыми почвами -до 33%. Так, например, для возделывания зерновых культур на тяжелых по механическому составу почвах северного региона Казахстана рекомендованы четырех- и пятипольные севообороты [8]. В пятипольном зернопаровом севообороте на почвах тяжелого механического состава в паровом поле предусматривалось проведение сплошных безотвальных механических обработок почвы (4-5 за сезон) с постепенным увеличением глубины – начиная с поверхностной и мелкой в весенне-летний период, заканчивая глубоким рыхлением в летне-осенний. Кроме того предусматривалось проведение мелких плоскорезных обработок почвы в осенний период под вторую и четвертую культуры после пара и проведение глубокой безотвальной обработки в осенний период под третью культуру после пара [7].

Правильная обработка парового поля обеспечивала значительное снижение численности вредных насекомых и сорной растительности. Накопленные за два сезона в паровом поле осадки создают в почве значительные запасы продуктивной влаги, что в условиях острозасушливого климата является основой получения высоких и качественных урожаев. По данным Бараева [7] в годы с предшествующей сухой осенью и малоснежной зимой весенние запасы продуктивной влаги в паровом поле в 2,1-2,8 раза превышали запасы на поле из под зерновых культур.

Изменение социально-экономического положения в целом по Республике Казахстан в последнем десятилетии ХХ века сказались и на изменении положения сельского хозяйства – значительный рост цен на горюче-смазочные материалы, недостаток квалифицированных механизаторов и прочих ресурсов, способствовали сведению механических обработок как наиболее энергозатратных технологических операций к минимуму, происходила их замена менее затратными. Минимизация механических обработок почвы в условиях северного Казахстана происходила в двух направлениях [9, 10]:

- сокращение числа и глубины основных, предпосевных и междурядных обработок почвы в севообороте, уменьшение обрабатываемой поверхности поля путем обработки лишь части поля с оставлением необработанных полос (полосовая обработка) – минимальная обработка;

- посев в необработанную почву специальными посевными агрегатами – нулевая обработка.

Уничтожение сорной растительности и вредных насекомых в данном случае происходит главным образом благодаря применению средств химической защиты растений.

По гипотезе одного из основоположников минимизации обработки почвы Овсинского [11] разуплотнение более глубоких почвенных слоев происходит за счет «биологического саморыхления», обусловленного повышением биогенности почвы, развитием мезофауны. Перенося растительные остатки с поверхности вглубь почвы, дождевые черви и насекомые формируют канальцы, которые вместе с ходами отмерших корней способствуют саморыхлению почвы. Однако в этом случае не учитывается необходимость применения пестицидов при минимизации почвообработки, нет данных об их влиянии на мезофауну и, соответственно, критических уровнях пестицидной нагрузки [12].

Необходимо отметить, что научнообоснованное применение минимальных технологий возделывания сельскохозяйственных культур – это не просто отказ от глубокой механической обработки почвы, применение гербицидов и замена лаповых сошников на дисковые либо анкерные. Такой подход неизбежно приведет к ухудшению физических свойств почвы и недостатку влаги, что в конечном счете приведет к падению урожайности сельскохозяйственных культур. Как отмечает один из популяризаторов нулевой обработки почвы, доктор сельскохозяйственных наук В.К. Дридигер [13] применение технологий минимальной обработки подразумевает переход от традиционной зернопаровой системы земледелия к плодосменной. В первую очередь – это отказ от зернопарового севооборота и создание севооборотов с чередованием сельскохозяйственных культур, причем подбор этих культур и их размещение в севообороте будет индивидуальным в первую очередь зависимости от природно-климатической зоны [14, 15]. Обязательно введение в севооборот растений со стержневой корневой системой, способной разуплотнять почвенный слой. На полях, вводимых в технологию минимальной обработки почвы, в случае их уплотнения, должна быть проведена глубокая обработка ниже переуплотненного горизонта с обязательным выравниванием поверхности поля. На поверхности поля должно осуществляться накопление измельченных пожнивных остатков. Желательным требованием является применение покровных культур, в промежутке от уборки предшествующей до посева следующей культуры севооборота.

Указанное выше как минимум потребует от хозяйства пересмотреть, дополнить или полностью обновить свою материально-техническую базу, что, в свою очередь, потребует вливания значительных денежных средств.

В реальности переход от традиционной технологии к минимальной очень часто ограничивался отказом от механических обработок почвы, в первую очередь глубокой обработки как самой энергозатратной, с сохранением существующих в хозяйстве схем севооборотов. Способствовало данному явлению отсутствие последовательной и внятной аграрной научно-технической политики в данном вопросе [12].

Так, к 2010 году в Казахстане минимальные и нулевые технологии использовались на 67% площадей, а к 2012 году внедрение минимальной и нулевой технологии обработки почвы составило более 70% от всего зернового клина [16].

Несомненным преимуществом применения минимальной и нулевой технологий в сравнении с почвозащитной является сокращение производственных затрат. В основном за счет сокращения расходов на ГСМ, из которых 60-70% приходится на обработку почвы.

Однако отказ от основной обработки почвы кроме позитивного эффекта в виде уменьшения производственных затрат и, как следствие, повышении рентабельности, имеет и негативный эффект.

В некоторых хозяйствах рассматриваемого региона, в которых изначально для возделывания зерновых культур применялась традиционная технология, а в течении 5-6 лет минимальная и нулевая, было замечено, что на полях появились лиманы и их площади с каждым годом увеличиваются, а посевные площади уменьшаются.

Специалисты считают, что это связано с высоким уплотнением нижних слоев почвы. На полях остается высокая стерня до 25 см и дополнительные кулисы из стерни после прохода очесывающих жаток высотой 40-50 см. Это позволяет накопить определенное количество достаточно плотного снега. При потеплении снег начинает интенсивно таять, при этом плотная и сухая или влажная и замерзшая почва не пропускает талые воды, вследствие чего они стекают в низины, образуя лиманы. Если местность холмистая, существует опасность возникновения водной эрозии. Ситуация усугубляется отсутствием на почве измельченных пожнивных остатков. Часть хозяйств собирает солому на нужды животноводства, многие хозяйства солому в валках сжигают весной.

Помимо негативного воздействия на верхний плодородный слой почвы в весенний период влага в больших количествах расходуется на непродуктивное испарение в весенне-летний период, приводя к существенному снижению урожая зерновых культур. Так, в 2017-2018 гг. нами совместно с сотрудниками КФ ТОО «НПЦ агроинженерии» были проведены экспериментальные исследования по оценке влияния глубокой безотвальной обработки почвы на весенние запасы влаги [17]. Исследования проводились в Мендыкаринском районе Костанайской области. В качестве контрольного варианта было принято стерневое поле, на котором в течение пяти лет не применялись механические обработки. Состояние пахотного слоя 0-50 см в период проведения обработок в 2017 году характеризовалось средней влажностью 17,1%, твердостью 4,9 МПа и плотностью 1,47 г/см3.

Результаты экспериментальных исследований показали, что на поле, на котором в течение длительного времени не проводились глубокие механические обработки почвы запасы влаги в почвенном слое минимальны. Происходит данное явление по той же причине, по которой на поверхности поля образуются лиманы – накопленный за зимний период снег не проникает в глубокие слои почвы из-за ее чрезмерного уплотнения.

Исследования, Шилова [18], начиная с 2015 г в Карабалыкском районе Костанайской области, подтверждают, что осенняя обработка почвы оказывает влияние на динамику плотности сложения пахотного слоя в сравнении с восьмилетним применением нулевой технологии.

Результаты исследований показали, что отказ от механической обработки почвы в условиях Костанайской области привел к существенному уплотнению среднего и нижнего почвенного слоя пахотного горизонта. Так, в слое 20-30 см за весь период вегетации плотность почвы не опускалась ниже 1,35 г/см3. В свою очередь, повышенная плотность негативно сказалась на содержании в пахотном слое основных элементов питания растений.

Авторы исследований объясняют данные результаты следующим образом. Во-первых, длительное применение нулевой технологии локализует содержание подвижного фосфора к самой верхней части пахотного горизонта – до 66-82% всех его запасов в пахотном слое; во-вторых, нижний слой 20-30 см практически не содержит кислоторастворимого фосфора доступного для растений. Он начинает появляться в почвенном растворе только на фоне глубоких обработок в незначительном количестве – от 0,8 до 2,5 мг/кг.

Как итог всего написанного выше – участок, на котором в течение длительного времени применяется нулевая технология, дал минимальную урожайность.

Твердость почвы в послеуборочный период в пятнадцатисантиметровом слое на полях где в течении длительного времени применялись элементы минимальной и нулевой технологий возделывания зерновых культур также как и плотность имеет тенденцию к росту. Замеры твердости почвы на полях, которые в течение 5 и более лет не обрабатывались на глубину более 15 см проведенные нами в 2015-2017 гг. показали следующие результаты – таблица 1.1.

Таблица 1.1 – Влажность, твердость и плотность почвенных слоев (2013-2017 гг, Костанайский район)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Год | Влажность, % | Плотность, г/см3 | Твердость, МПа |
| 2013 | 18,4 | 1,5 | 3,7 |
| 2014 | 11,4 | 1,7 | 5,9 |
| 2015 | 18,9 | 1,3 | 6,2 |
| 2016 | 7,9 | 1,5 | 5,6 |
| 2017 | 18,5 | 1,4 | 5,8 |

Исследования зарубежных специалистов подтверждают, что отсутствие механических обработок повышает ее твердость [19]. Необходимо уточнить, что в результаты опытов (штат Дакота, США), представленные в данной работе говорят о том, что увеличение твердости не превысило уровня – 2,0-2,5 МПа. Однако увеличение твердости почвы при использовании нулевой технологии очевидно.

Попытку упорядочить применение минимальных и нулевых обработок сделали специалисты Всероссийского научно-исследовательского института земледелия и защиты почв от эрозии [20-24]. В результате проведенного ими всестороннего исследования было выдвинуто положение о том, что нулевые и поверхностные (минимальные) способы основной обработки почвы не могут являться системами в севооборотах, а могут применяться как способы под отдельные культуры в границах существующих систем. Одним из основных недостатков систематического применения указанных способов обработки почвы авторы исследований [23] называют уплотнение почвы, особенно на средне и малогумусированных почвах тяжелого механического состава.

Еще одной негативной тенденцией, характерной для современного сельского хозяйства является возросшее уплотняющее воздействие на почву движителями сельскохозяйственных агрегатов [25]. Объясняется данное явление возросшим количеством в сельскохозяйственном производстве энергонасыщенных энергетических средств с большой массой и высоким давлением на почву их ходовой системы. Степень уплотнения почвы зависит от типа ходовой системы, массы энергетического средства и числа его проходов по полю. По данным различных исследователей [25-29] при возделывании зерновых культур в результате однократного воздействия движителей тракторов уплотняется 50-60 % от площади поля, двукратного – до 20%, трехкратного – до 10%, не уплотненным остается не более 30%.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что на современном этапе развития сельского хозяйства в северном регионе Республики Казахстан в результате несоблюдения сельхозтоваропроизводителями технологии ведения сельского хозяйства возникла проблема массового уплотнения почвы и повышения ее твердости.

Ковда В.А. [30] одним из главных факторов, снижающих плодородие, а следовательно и урожайность сельскохозяйственных культур, считал уплотнение пахотного горизонта, которое, в свою очередь, способствует развитию эрозионных процессов, ухудшению водного и воздушного режимов питания сельскохозяйственных растений, блокирует доступ корней к имеющимся в почве питательным веществам.

Поэтому для поддержания корнеобитаемого слоя почв с тяжелым механическим составом (тяжелосуглинистые и среднесуглинистые почвы) в оптимальном состоянии требуется проведение мероприятий по ее разуплотнению.

В рекомендациях последних лет отечественных агротехнологических [31] и агротехнических [1, 32] институтов независимо от применяемой технологии производства сельскохозяйственных культур рекомендуется проведение один раз в 2-4 года глубокое сплошное либо полосовое разуплотнение (рыхление) почв, равновесная плотность которых превышает предел оптимума.

Необходимо отметить, что под термином «разуплотнение» нами подразумевается применение способов, позволяющих поддерживать плотность и твердость почвы в оптимальном состоянии.

## 1.3 Способы разуплотнения почвы

Процессы уплотнения и разуплотнения почвы характерны не только для почв, вовлеченных в сельскохозяйственную деятельность человека, но и для почв, находящихся в природном состоянии. Без вмешательства человека в почве происходит периодически повторяющиеся уплотнение (воздействие копыт животных, удары капель дождя о поверхность почвы, лишенную растительного покрова, понижение влажности, «слипание» глинистых частиц, входящих в состав почвы и др.) и разуплотнение почвы (деятельность живых организмов населяющих почву, действие корневой системы растений, оттаивание почвы после морозов и др.).

В природе данные процессы уравновешивают друг друга, однако вовлечение почвенных ресурсов в сельскохозяйственную деятельность человека нарушает это природное равновесие и в этом случае требуется проведение мероприятий по искусственному разуплотнению почвы.

Борьбу с уплотнением почвы проводят по трем направлениям [33, 34]: снижение уплотнения, предотвращение уплотнения и разуплотнение.

К мероприятиям направленным на снижение уплотнения почвы относятся работы по совершенствованию движителей энергетических средств (спаренные колеса, шины низкого давления, резинометаллические гусеницы), уменьшение их массы, создание широкозахватных и комбинированных машин, маршрутизация движения машинотракторных агрегатов (технологическая колея).

Мероприятия по предотвращению уплотнения почвы в настоящее время еще недостаточно разработаны и изучены. К этому направлению работ может быть отнесены машины на воздушной подушке и концепция мостового земледелия [35-38]. Однако внедрение данной технологии потребует значительных капиталовложении на проведение длительных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, на создание опытного образца и парка сельскохозяйственной техники к нему. В связи с этим на данном этапе развития науки и техники наиболее эффективный прием борьбы с уплотнением почвы – ее разуплотнение.

Способы искусственного или технического разуплотнения почвы можно классифицировать следующим образом:

а) способы механического разуплотнения;

б) способы, основанные на гидравлическом воздействии;

в) способы, основанные на использовании газовоздушной смеси;

г) способы, основанные на газодинамическом воздействии;

д) способы основанные на волновом (вибрационном, электромагнитном) воздействии.

На современном уровне развития земледельческой механики и технических средств для искусственного разуплотнения почвы можно утверждать, что превалирующим останется механический способ со всеми его положительными и отрицательными последствиями [39]. Остальные способы являются альтернативными, целью которых, как правило, является снижение тягового сопротивления [40-44]. Однако снижение тягового сопротивления нивелируется возрастающими затратами энергии, необходимыми для функционирования технических средств, осуществляющих гидравлическое, газодинамическое или иное воздействие.

В соответствии с рисунком 1.2 представлена предложенная автором классификация рабочих органов, основанных на механическом способе разуплотнения почвы [45].

К тягово-приводным рабочим органам или рабочим органа с активным приводом относятся почвенные фрезы. Достоинством данного типа рабочих органов является высокая степень крошения обрабатываемого почвенного слоя (более 90%) и лучшее качество обработки по сравнению с тяговыми рабочими органами [46], однако при этом они являются наиболее энергозатратными. Так по результатам энергетической оценки удельные энергетические затраты ротационного плуга РП-200 (средняя глубина обработки – 20 см) составляют в среднем 250 МДж/га [46]. Удельные затраты энергии орудия для безотвальной обработки почвы (плоскорез) ПГ-3-5 в схожих условиях при той же глубине обработки составляют не более 100 Мдж/га. Данный тип рабочих органов применяется преимущественно при подготовке почвы к посадке овощных и пропашных культур.

Тяговые или пассивные рабочие органы – наиболее распространенный тип рабочих органов, их неоспоримым достоинством является относительная простота конструкции, возможность применения в различных почвенно-климатических условиях и в различных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур, они менее энергоемки. Для повышения качества обработки почвенного слоя возможно использовать комбинацию различных типов рабочих органов.

К рабочим органам для отвальной обработки почвы относятся плуги. По типу рабочих органов подразделяются на лемешные и дисковые. Лемешные плуги являются наиболее древним из всех почвообрабатывающих орудий. Достоинством отвальной обработки почвы является большая деформация почвы, увеличение ее объемной массы, полная заделку растительности в сравнении с безотвальной обработкой. [47]. Впрочем, для регионов, подверженных ветровой эрозии последнее достоинство является недостатком. Лишенная растительных остатков почва подвержена интенсивному выдуванию. Кроме того по удельным энергозатратам отвальная вспашка сопоставима с обработкой почвы активными рабочими органами [48].

|  |
| --- |
|  |
|  |
| Рисунок 1.2 – Классификация рабочих органов для механического  разуплотнения почвы |

Главным достоинством рабочих органов для безотвальной обработки является защита почв от ветровой эрозии, в условиях недостаточного увлажнения обеспечивается улучшенное накопление и сохранение влаги [49], как было отмечено выше безотвальные рабочие органы обеспечивают снижение удельных энергетических затрат в сравнении с отвальной обработкой.

Глубина хода рабочего органа зависит главным образом от применяемой технологии возделывания сельскохозяйственных культур.

Поверхностная обработка характерна для нулевой технологии. Механическая обработка почвы в этом случае осуществляется только при проведении посева (дисковыми либо анкерными сошниками) на глубину заделки семян. Мелкая обработка применяется при использовании минимальной технологии возделывания.

Обычная и глубокая обработка почвы является одной изосновной операцией в традиционных технологиях возделывания. Разуплотнению подвергаются нижние (подпахотные) горизонты почвы. Вариация глубины обработки зависит от конкретных почвенно-климатических условий в рассматриваемом регионе.

Возможно проведение комбинированных разноглубинных механических обработок, например, в [50, 51] авторами предлагаются способы разноглубинной зяблевой вспашки, которая позволяет снизить энергозатраты не менее чем на 20-30%. Однако применение подобных способов обработки возможно на почвах легкого и среднего механического состава.

При сплошной обработке рабочий орган непосредственно воздействует (обрабатывает) каждый элементарный участок площади поля. Данный способ обработки характерен для большинства технологий, применяемых в растениеводстве.

При полосовой обработке между обработанными участками остаются полосы необработанной почвы. Разуплотнение почвы в необработанных полосах происходит за счет развития боковых трещин в почвенном слое при движении рабочего органа. Достоинством данного способа обработки являются меньшие удельные затраты энергии в сравнении со сплошным способом. Примером такого способа разуплотнения почвы является нарезание щелей через определенный интервал. Однако, при применении данного вида обработки на почвах с тяжелым механическим составом происходит неравномерное разуплотнение и промачивание почвы, а по краям щелей на поверхности поля образуются прищелевые валики, препятствующие проникновению воды в щель.

При воздействии рабочих органов почвы испытывает различные виды простых деформаций (сжатие, растяжение, сдвиг, кручение, изгиб) и более сложное деформированное состояние, являющееся комбинацией перечисленных простых деформаций. Основным видом деформации при обработке почвы является деформация сжатия. Другие виды деформации составляют от 2 до 10 % от сжатия [39].

По данным [52] предел прочности среднего суглинка при растяжении составляет 5-6 кПа, при сжатии 65-108 кПа, при сдвиге 10-12 кПа. Причем пределы прочности почвы уменьшаются с повышением влажности почвы. В пределах влажности 6-13 % изменение предельной прочности незначительно, при повышении влажности более 14 % происходит ее резкое падение [39]. Рабочий процесс большинства рабочих органов основан на поступательном (прямолинейном) движении. Примером могут служить плуги, стрельчатые, плоскоержущие, чизельные рабочие органы, щелерезы и прочее. Достоинством данной группы рабочих органов является относительная простота их конструкции, возможность применения в различных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур. Рабочие органы данной группы отностяся к рабочим органам с пассивным приводом.

Рабочие органы с вращательным движением могут быть как с внешним приводом (почвенные фрезы), так и без привода (дисковые рабочие органы). Достоинством последних является, во-первых, возможность работы на повышенных скоростях (следовательно, повышенной производительности) в сравнении с рабочими органами с поступательным движением при тех же энергетических затратах [53], во-вторых, высокая степень крошения и рыхления почвенного слоя, измельчение и перемешивание растительных остатков с созданием мульчированного слоя. Тем не мене использование данного вида рабочих органов для основной обработки почвы в степных районах, подверженных ветровой эрозии, представляется опасным, поскольку чрезмерное измельчение почвенного слоя и уничтожение растительного покрова может привести к развитию эрозионных процессов [12].

Предоставленная классификация рабочих органов позволяет сделать вывод о возможности использования той или иной группы рабочих органов для разуплотнения почвенного слоя в условиях Северного Казахстана с учетом предъявляемых к данной технологической операции агротехнических требований и применяемой технологии возделывания сельскохозяйственных культур.

В соответствии с рекомендациями НПЦЗХ им. А.И. Бараева и исходным требованиям на базовые машинные технологические операции в растениеводстве [54, 55]для механического разуплотнения почвенного слоя в почвенно-климатических условиях северного региона Казахстана приняты агротехнические требования, представленные в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Агротехнические требования для механического разуплотнения почвенного слоя в почвенно-климатических условиях северного региона Казахстана

|  |  |
| --- | --- |
| Показатель | Значение  показателя |
| Периодичность проведения, лет:  - для почв тяжелого механического состава;  - для почв среднего механического состава | 2  4 |
| Глубина обработки, см:  - для почв тяжелого механического состава;  - для почв среднего и легкого механического состава | 25-27  22-24 |
| Сохранение на поверхности поля стерни и иных растительных остатков, % | Не менее 60 |
| Крошение обрабатываемого слоя с содержанием почвенных комков до 50 мм включительно, % | Не менее 60 |
| Рабочая скорость, км/ч | 7-10 |

Одним из главных агротехнических требований, предъявляемых к данной технологической операции, является сохранение на поверхности почвы не менее 60 % растительных остатков для предотвращения развития ветровой эрозии.

Обобщая представленную выше информацию можно сделать следующий вывод. В почвенно-климатических условиях, характерных для северного региона Республики Казахстан с учетом применяемых технологий возделывания сельскохозяйственных культур для проведения механического разуплотнения целесообразно применять тяговые рабочие органы с поступательным движением, осуществляющие сплошную либо полосовую безотвальную глубокую обработку почвы. Под данные классификационные признаки попадают плоскорежущие рабочие органы, чизельные рабочие органы, щелеватели и рабочие органы с криволинейными стойками для объемного рыхления почвы типа «Paraplow».

Более подробно рассмотрим особенности каждого из перечисленных видов рабочих органов в п.п. 1.4.

## 1.4 Рабочие органы для безотвальной обработки почвы, применяемые в почвенно-климатических условиях северного региона Казахстана

В соответствии с рисунком 1.3 представлены схемы поперечных профилей сечения пласта при работе орудия с различными видами рабочих органов.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| а) | б) |
|  |  |
| в) | г) |
|  |  |
| а) чизельный; б) «Параплау»; в) щелеватель; г) плоскорежущий | |
|  | |
| β - угол, характеризующий деформацию почвы с боковых сторон рабочего органа в поперечном сечении; Н – высота неразрушенных гребней; b - ширина захвата рабочего органа; с – ширина междурядья; hk – глубина резания с образованием почвенной стружки (критическая глубина); hс – глубина сплошного рыхления; Вк – конструктивная ширина захвата орудия | |
|  | |
| Рисунок 1.3 – Схемы поперечных профилей сечения пласта при работе орудия с различными видами рабочих органов | |

Среди отечественных исследователей, внесших значительный вклад в создание комплекса чизельных орудий, необходимо отметить В.В. Труфанова [56]. Труфанов дает следующее определение чизельной обработки [56]. Под чизельной обработкой подразумевается безотвальная обработка почвы с недорезом пласта по ширине захвата с образованием неразрушенных гребней под дном борозды и разрыхленного слоя почвы над гребнем.

В зависимости от используемых наральников чизельная обработка может быть сплошной (стрельчатый наральник) либо полосовой (рыхлителньый наральник.

Сплошная чизельная обработка применяется на сильно переуплотненных почвах, почвах с тяжелым механическим составом. Полосовая – на почвах со средним и легким механическим составом, на склонах для предотвращения стока воды (взамен щелевания).

Вид чизельного рабочего представлен в соответствии с рисунком 1.4.

По степени перемешивания разрыхляемой почвы чизелевание превосходит плоскорезную обработку, но уступает отвальной. Вследствие неполного рыхления пахотного слоя чизельная обработка способствует тому, что при работе в одинаковых почвенных условиях удельные затраты энергии меньше, чем при отвальной и плоскорезной. Кроме того данный вид рабочих органов является работоспособным на почвах с влажностью до 30 %, что положительно отличает его от плоскорежущего рабочего органа.

|  |
| --- |
| \\Lab2-pc2\союзная папка\Фото джондир\IMG_20190703_104025.jpg |
|  |
| Рисунок 1.4 – Чизельный рабочий орган (глубокорыхлитель JohnDeere 2720) |

В условиях северного Казахстана главным недостатком чизельных рабочих органов является низкий процент сохранения растительных остатков. По данным собственных испытаний машин сданным видом рабочих органов и результаты испытаний МИС говорят о том, что максимальная сохранность стерни составляет не более 50 %, что является недостаточным для надежной защиты почв от ветровой эрозии.

Объясняется данный факт следующим образом. В соответствии с рисунком 1.3 (а) чизельные рабочие органы имеют такую ширину междурядья, при которой зоны распространения деформации почвы с боковых сторон в процессе рыхления пересекаются ниже поверхности поля в обрабатываемом слое. Это обеспечивает относительно высокое перемешивание почвы, однако приводит к засыпанию значительной части растительных остатков.

Рабочие органы типа «Paraplow» являются дальнейшим продолжением и совершенствованием конструкции чизельных рабочих органов. В соответствии с рисунком 1.5 отличительной чертой данного вида рабочих органов является криволинейная наклонная стойка, имеющая вертикальную и наклонную части.

Приоритет в создании подобных рабочих органов принадлежит фирме «Howard», Великобритания. Заслуживают внимания результаты работы В.И. Ветохина, в которой им была разработана математическая модель, описывающая взаимодействие данных рабочих органов с почвой, и были обоснованы параметры рабочего органа с криволинейной рабочей поверхностью [57].

Достоинством криволинейной стойки является, во-первых, снижение гребнистости дна борозды и повышение качества крошения обрабатываемого слоя (рисунок 1.3, б), во-вторых, благодаря отклоненной от вертикали криволинейной стойке, происходит подъем и изгибание отрезаемого почвенного пласта. Благодаря этому в нем создаются растягивающие напряжения. По сравнению с вертикальной прямой стойкой такой рабочий орган способен обеспечить снижение тягового сопротивления на 10-20 % [39].

В условиях северного Казахстана рабочие органы с криволинейной рабочей поверхностью будут иметь тот же недостаток, что и чизельные рабочие органы – низкая сохранность растительных остатков.

|  |
| --- |
| D:\КазНИИМЭСХ\_ФОТОГРАФИИ И ВИДЕО\День поля 17.10.2017\IMG_4345.JPG |
| Рисунок 1.5 – Чизельный рабочий орган с криволинейной стойкой – параплау (рыхлитель ПЧ-4,5П) |

Снижение тягового сопротивления за счет частичного замещения деформации сжатия деформациями растяжения возможно, когда в почвенном слое под воздействием рабочего органа образуется стружка сдвига. Данная схема разрушения характерна при обработке увлажненной и слабосвязанной почвы [58]. В этом случае почвенный пласт сдвигается вдоль поверхности рабочего органа с одновременным деформированием и разрушением.

При обработке сухой связной почвы клин отрывает отдельные глыбы неправильной формы, при этом пласта почвы в обычном понимании не образуется [58]. В период проведения глубокой обработки почвы в условиях северного Казахстана наблюдается низкая влажность почвенного слоя, в совокупности с преобладанием суглинистых почв тяжелого механического состава снижение тягового сопротивления при использовании рабочих органов с криволинейной поверхностью становится маловероятным.

Еще одним приемом разуплотнения почвенного слоя и накопления в почве продуктивной влаги является щелевание. По конструкции рабочие органы для щелевания и чизелевания имеют много общего. Однако два рассматриваемых приема обработки почвы имеют принципиальное отличие. Как было отмечено ранее, при чизельной обработке зоны распространения деформации почвы с боковых сторон пересекаются ниже поверхности поля в обрабатываемом почвенном слое (рисунок 1.3, а). При щелевании – зоны распространения деформации не имеют пересечений в почвенном слое (рисунок 1.3, г). В результате этого между проходами рабочих органов остаются участки (полосы) почвы с неповрежденным растительным покровом, при этом распространение боковых трещин способствует частичному разуплотнению необработанных почвенных полос. Вид рабочего органа щелевателя представлен на рисунке 1.6.

Все это способствует значительному накоплению влаги в почвенном слое, что сказывается, в конечном счете, на урожайности сельскохозяйственных культур. Кроме того процесс щелевания почвы в сравнении с плоскорезной обработкой является менее энергоемким. Многие авторы отмечают положительный эффект от щелевания почвы в сравнении с другим способами обработки [59-61].

Большой вклад в обоснование способов совершенствования основной обработки почвы в условиях Западной Сибири, основу которой составляет щелевание, сделал В.Н. Слесарев [62]. Он обосновал наиболее эффективный способ щелевания почвы под зерновые и многолетние травы в рассматриваемых почвенно-климатических условиях.

|  |
| --- |
| щн--5,4 |
| Рисунок 1.6 – Рабочий орган щелевателя (Щелеватель ЩН-9, ЩП-11) |

Однако замещение сплошной глубокой безотвальной обработки почвы щелеванием, особенно на почвах с тяжелым механическим составом, является недопустимым. Полосовое разуплотнение почвы является недостаточным для создания оптимальных условий по всему фону. Исследования [61] подтверждают данное заключение. Несмотря на общую положительную оценку щелевания в сравнении с другими приемами основной обработки, авторы не отрицают того факта, что плотность почвы при щелевании имела завышенное значение. Также и [63] не рекомендует отказываться от проведения сплошных обработок на почвах с тяжелым механическим составом. В результатах исследования Шилова [18] по оценке влияния различных приемов основной обработки почвы на урожайность сельскохозяйственных культур на поле где в течении 8 лет отсутствовали механические обработки, получен следующий результат. Урожайность яровой пшеницы на поле где в качестве основной обработки применяли только щелевание на 16% меньше, чем на поле, где применяли глубокую безотвальную обработку.

Кроме того, на полях сильно засоренных, особенно корнеотпрысковыми растениями, щелевание приводит к увеличению засоренности посевов [64].

Плоскорежущие рабочие органы получили широкое распространение на территории северного Казахстана со второй половины ХХ века с внедрением почвозащитной системы земледелия.

Плоскорежущая обработка обеспечивает сплошное рыхление и крошение почвенного слоя (рисунок 1.3, г), подрезания корней корнеотпрысковых сорных растений, высокую сохранность растительных остатков на поверхности поля.

Применительно к почвенно-климатическим условиям северного Казахстана наибольшее распространение и признание получил противоэрозионный комплекс машин, разработанный А.П. Грибановским [65]. Для глубокого плоскорезного рыхления на глубину 20-27 см были разработаны плоскорезы-глубокорыхлители КПГ-250А, ПГ-3-100, ПГ-3-5, плоскорезы-глубокорыхлители-удобрители ГУН-4 [8]. Со схожей конструкцией рабочих органов. Вид рабочего органа орудия ПГ-3-5 представлен на рисунке 1.7.

|  |
| --- |
| D:\КазНИИМЭСХ\_ФОТОГРАФИИ И ВИДЕО\День поля 17.10.2017\IMG_4272.JPG |
|  |
| Рисунок 1.7 – Рабочий орган плоскореза-глубокорыхлителя  (орудие ПГ-3-5) |

Подобные рабочие органы благодаря большой ширине захвата, а следовательно и ширине междурядья, так рабочий орган ПГ-3-5 имеет ширину захвата 1 м, обеспечивают высокую сохранность стерни – до 70-80 % от исходного количества, при достаточной степени крошения обрабатываемого почвенного слоя – не менее 60 %.

Однако обеспечение таких качественных показателей работы возможно при твердости почвы не более 3,5 МПа. Данные почвенные условия были типичными в период активного применения всех элементов почвозащитной системы земледелия. Когда в результате систематических механических обработок твердость почвы не превышала 4,0 МПа.

Как было указано выше (п.п.1.2), в современных условиях характерной чертой в связи с массовым отказом от систематического проведения глубоких механических обработок стало повышение твердости почвенного слоя до 5-6 МПа (таблица 1.1), в совокупности с высоким содержанием глины и низкой влажностью в период проведения глубокой обработки разрушение почвенного слоя рабочими органами аналогично процессу образования стружки отрыва у хрупких материалов, например чугун. То есть, как было сказано выше, образуются отдельные почвенные глыбы неправильной формы. Их размер, помимо физико-механических свойств почвы, будет зависеть от параметров рабочего органа. Так, почвенный слой, находящийся ближе к стойке будет испытывать разнонаправленные деформации в вертикальной и горизонтальной плоскостях от стойки, долота и лемехов. Почвенные слои, взаимодействующие с периферийной частью рабочего органа, деформируются только горизонтальными деформациями от лемехов. Следовательно, разрушение почвенного монолита в этой зоне будет происходить менее интенсивно, чем в центральной. В результате количество образованных трещин является недостаточным для обеспечения требуемого уровня крошения. Поверхность почвы после взаимодействия с рабочим органом в соответствии с рисунком 1.8 (с твердость 5,6 МПа, влажность 15 %) имеет глыбистую структуру.

|  |
| --- |
| C:\Users\User\Desktop\после ГУН-4\20181018_134055.jpg |
|  |
| Рисунок 1.8 – Поверхность поля после обработки орудием ГУН-4 (Тарановский район, Костанайская обл., 2017 г.) |

Несмотря на имеющиеся недостатки, на наш взгляд, в рассматриваемых условиях наиболее применимы для сплошного разуплотнения уплотненной почвы с тяжелым механическим составом с точки зрения соблюдения агротехнических требований именно плоскорежущие рабочие органы. Одним из возможных способов устранения имеющегося недостатка является оптимизация конструктивных параметров рабочего органа, в том числе ширины захвата.

В результате проведенного анализа были рассмотрены основные способы разуплотнения почвенного слоя. Установлено, что на современном этапе развития наиболее эффективен способ механического разуплотнения почвы. Изучив и обобщив научно-техническую литературу, была проведена классификация существующих рабочих органов для механического разуплотнения почвы. В почвенно-климатических условиях северного Казахстана целесообразно применение тяговых рабочих органов, осуществляющих сплошную либо полосовую безотвальную обработку. Были рассмотрены наиболее распространенные виды рабочих органов, входящих в данную классификационную группу – это чизельные рабочие органы с прямой и криволинейной стойкой (параплау), щелеватели и плоскорежущие рабочие органы. Установлено, что наиболее применимы для сплошного разуплотнения уплотненной почвы с тяжелым механическим составом с точки зрения соблюдения агротехнических требований являются именно плоскорежущие рабочие органы.

Для того, чтобы определить пути устранения существующих недостатков плоскорежущих рабочих органов, необходимо провести анализ существующих конструкций.

## 1.5 Анализ существующих конструкций плоскорежущих рабочих органов

Как было указано выше, широкому распространению на территории северного региона Республики Казахстан плоскорежущих рабочих органов способствовало внедрение со второй половины ХХ века в сельскохозяйственное производство СССР почвозащитной системы земледелия. Отечественными заводами и конструкторскими бюро сельскохозяйственного машиностроения, такими как завод им. «Октябрьской революции, «Красный Аксай», «Алтайсельмаш», «ГСКБ ПЭТ», «Целинмаш» и др. было организовано производство комплекса машин для технического обеспечения почвозащитной системы земледелия, в том числе и глубокорыхлителей с плоскорежущими рабочими органами [8, 66]. Образцы плоскорезов-глубокорыхлителей представлены на рисунке 1.9. Основой для производства послужили результаты исследований специализированных научно-исследовательских институтов, изучающих вопросы технологического и технического обеспечения сельского хозяйства, например, ВАСХНиЛ, ВНИИЗХ им. А.Бараева, ВИМ, КазНИИМЭСХ, ЦелинНИИМЭХ и другие.

|  |  |
| --- | --- |
| E:\Учеба\Докторантура\_Попытка № 4 2017 год\Диссертация\Раздел 1\графические материалы\глубокорыхлители\КПГ 250.jpg  1  1  2  2  3  3  4  4  5  5 | E:\Учеба\Докторантура\_Попытка № 4 2017 год\Диссертация\Раздел 1\графические материалы\глубокорыхлители\КПГ 2-150.jpg |
| а) | б) |
|  |  |
| 1 – опорное колесо; 2 – плоскорежущий рабочий орган; 3 – механизм регулировки глубины обработки; 4 – рама; 5 – механизм навески | |
|  | |
| а) плоскорез-глубокорыхлитель КПГ-250;  б) плоскорез-глубокорыхлитель КПГ 2-150 | |
|  | |
| Рисунок 1.9 – Орудия для глубокой плоскорезной обработки почвы | |

В основе плоскорежущего рабочего органа, как и большинства рабочих органов для сплошной механической обработки положен трехгранный клин, в большинстве случаев симметричный относительно продольно-вертикальной плоскости.

Общепризнанным основоположником теории взаимодействия двухгранного и трехгранного клина с почвой в частности и земледельческой механики в целом является Горячкин В.П. Его фундаментальные труды [67] и труды его учеников и последователей Желигловского В.А. [68], Лучинского Н.Д. [69], Василенко П.М. [70], Летошнева М.Н. [71], Пигулевского М.Х. [72], Зеленина А.Н. [73], Ветрова Ю.А. [74] и других послужили основой для создания теоретических основ почвообрабатывающих и землеройных машин.

Тщательное исследование деформации и сопротивления почвы под воздействием двух- и трехгранного клина провел Синеоков Г.Н. [75]. Он дополнил классическую теорию Горячкина В.П. об усилии резания почвы тем, что ввел дополнительное динамическое давление почвы на рабочую поверхность клина, обусловленную инерцией пласта.

Также пристальному изучению процесса деформации почвы рабочими органами почвообрабатывающих орудий, в основу которых положен двухгранный и трехгранный клин, посвящены работы Мацепуро М.Е. [76], Луканина Ю.В. [77], Виноградова В.И. [78], Новикова Ю.Ф. [79], Кострицына А.К. [80] и др. Ими были выявлены закономерности процесса деформации почвы рабочими органами почвообрабатывающих орудий, установлены взаимосвязи между деформацией почвы и ее удельным тяговым сопротивлением.

Большой вклад в развитие теоретических и экспериментальных основ разработки орудий с плоскорежущими рабочими органами внес Грибановский А.П. [65]. Специфические требования к качественному выполнению технологического процесса при плоскорезной обработке – максимальное сохранение стерни и минимальное распыление почвы, он характеризует общим количественным показателем «сгруживание почвы». В качестве сгруживания понимается отношения фактического объема или массы почвы на ножах рабочего органа к минимально-возможной (теоретической). Оптимальные значения геометрических параметров плоскорежущих рабочих органов и режимы их работы определены исходя из минимального значения сгруживания почвы.

Для повышения степени сохранности стерни ширина захвата разрабатываемых плоскорежущих рабочих органов принималась равной 0,9-1,0 м. Однако Грибановским А.П. теоретического обоснования данного параметра не проводится, указанное значение ширины захвата было принято на основании экспериментальных исследований.

Помимо Грибановского обоснованием геометрических параметров плоскорежущих рабочих органов и схемой их расположения на раме орудия в разные периоды времени занимались Ержанов А.Е. [81], Воронин А.И. [82], Бидлингмайер Р.В. [83], Хлызов Н.Т. [84], Щербаков Н.В. [85], Рахимов Р.С. [86] и др.

Общим в отмеченных работах является использование плосокрежущих рабочих органов с шириной захвата 0,9-1,0 м для обработки стерневых фонов в системе почвозащитного земледелия, расположенных на раме почвообрабатывающего орудия по различным схемам (клиновой, шеренговой и др.) в зависимости от условий работы.

Работы проводимые в данном направлении охватывают период начиная с 60-х годов и по 90-е годы ХХ века. Данный временной промежуток был расцветом почвозащитной системы земледелия. В сельскохозяйственный оборот вводилось большое количество целинных земель с ненарушенной почвенной структурой. Систематические обработки, движение различной сельскохозяйственной техники с высоким удельным давлением, преобладание монокультур привело к нарушению первоначального строения и состава почвы, которое выражалось, в первую очередь, в уплотнении почвенного слоя и уменьшении количества органического вещества. Данные обстоятельства в совокупности с климатическими особенностям (низкая влажность почвы в период проведения глубокой плоскорезной обработки) и преобладание почв с высоким содержанием мелких глинистых фракций способствовало ухудшению качества выполнения технологического процесса, которое выражалось в следующем.

Во-первых, ухудшилась заглубляющая способность плоскорежущих рабочих органов. Так Грибановский А.П. В своей работе [65] заглубляющую способность рабочих органов определяет по следующему выражению:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.1) |

где - коэффициент, характеризующий заглубляющую способность;

, - соответственно вертикальная и горизонтальная составляющая равнодействующей силы сопротивления почвы, Н.

Чем больше это соотношение, тем лучше заглубляющая способность рабочих органов.

Данное утверждение справедливо для установившегося режима работы, когда орудие вышло на заданную глубину обработки. Однако в начальный период работы, когда рабочие органы перемещаются в верхних слоях почвенного слоя, либо на ее поверхности заглубляющая способность рабочих органов будет зависеть от удельного веса, приходящегося непосредственно на единицу ширины захвата плоскорежущего рабочего органа. Значение удельного веса должно быть достаточным для того, чтобы преодолеть сопротивление почвы внедрению в него рабочего органа.

Во-вторых, качество крошения широкозахватных плоскорежущих рабочих органов на переуплотненных почвах с тяжелым механическим составом и недостаточным увлажнением значительно ниже допустимых агротехнических требований.

Причина на наш взгляд в следующем. В соответствии с рисунком 1.10 плоскорежущий рабочий орган основное воздействие на почвенный слой оказывает долотом и лемехами. Поскольку режущая кромка долота смещена вперед относительно режущих кромок лемехов, первоначальное воздействие на почвенный монолит оказывает именно долото (рисунок 1.10, а). Под его воздействием в почве образуются сколы, которые двигаются по определенным траекториям - линиям скольжения. Они образуются перпендикулярно режущей кромке, а затем отклоняются вверх в направлении дневной поверхности. При условии, что глубина обработки не превышает критическую глубину резания, перед режущей кромкой долота образуется клинообразное тело, имеющее в поперечно-вертикальной плоскости форму трапеции. Нижнее основание трапеции образуется шириной долота. Высота трапеции характеризует расстояние, на которое в продольно-вертикальной плоскости распространяются предельные напряжения, приводящие к образованию трещин в почвенном монолите перед режущей кромкой долота. Ее значение будет зависеть от величины, на которую выступает режущая кромка долота относительно лемехов. Верхнее основание трапеции характеризует ширину разрушенной полосы, ее величина будет зависеть от расстояния, на которое распространились предельные деформации в почве и угла ее скалывания.

|  |  |
| --- | --- |
| G:\Фрагмент для рисунка.jpg | G:\Фрагмент для рисунка.jpg |
| а) | б) |
|  | |
| а) взаимодействие долота; б) взаимодействие лемехов | |
|  | |
| Рисунок 1.10 – Процесс взаимодействия с сечением почвенного монолита элементов плоскорежущего рабочего органа | |

В момент контакта с рассматриваемым сечением почвенного слоя режущей кромки лемехов (рисунок 1.10, б) произойдет взаимодействие (интерференция) траекторий линий скола, вызванных лемехами, с уже имеющимися в почве растресканным участком. В результате интенсивность крошения почвы в этой зоне - зоне интерференции деформации почвенного слоя, будет максимальной. Как было указано выше, эта зона будет располагаться в центральной части рабочего органа симметрично относительно продольно-вертикальной плоскости, проходящей через ось симметрии плоскорежущего рабочего органа. В периферийной части плоскорежущего рабочего органа, за пределами зоны интерференции деформации почвенного слоя, предельное напряженное состояние, приводящее к образованию сколов в почве, вызвано исключительно воздействием на почвенный монолит режущих кромок лемехов, что в свою очередь, является недостаточным для интенсивного протекания процесса трещинообразования при обработке суглинистых почв, имеющих мелкодисперсный состав, низкую влажность и высокую плотность.

Отношение площади зоны интерференции деформации почвенного слоя (SИ.Д., м2) к площади почвы, обрабатываемой плоскорежущим рабочим органом (SО., м2) выразим через коэффициент интерференции (, %):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.2) |

В свою очередь, площадь почвы, обрабатываемая плоскорежущим рабочим органом SО. (м2), будет равна:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.3) |

где - ширина захвата плоскорежущего рабочего органа, м;

- расстояние от дневной поверхности до режущей грани лемехов, м.

В том случае, когда. → 1, КП → КMAX.

В третьих, широкозахватный плоскорежущий рабочий орган при обработке суглинистых почв с высокой плотностью и недостаточным увлажнением уничтожает значительный процент стерни и иных пожнивных остатков на поверхности поля.

Двигаясь в разрушенном и отделенном от почвенного монолита в результате воздействия режущих кромок объеме почвы, плоскорежущий рабочий орган придает этому объему определенную скорость движения.

Как было отмечено выше для почв с тяжелым механическим составом и недостаточным увлажнением характерным является деформация отрыва. В связи с этим отделенный от монолита объем почвы представляет из себя совокупность отдельных почвенных фракций, размер которых из-за недостаточного крошения превышает максимально допустимые (10 см). В процессе движения данных фракций происходит их соударение. В результате этого соударения одним из возможных последствий является следующее. Почвенная фракция, обладая начальной линейной скоростью движения и массой, обладает кинетической энергией. В процессе взаимодействия с другой почвенной фракцией, в том случае когда их центры тяжести не находятся в одной плоскости, почвенная фракция, центр тяжести которой расположен выше, по причине невозможности продолжения дальнейшего прямолинейного движения начнет вращаться относительно места контакта. Образовавшийся момент инерции преобразует кинетическую энергию прямолинейного движения в энергию вращательного движения. Произойдет частичный или полный оборот рассматриваемой почвенной фракции, в результате которого находящиеся на поверхности этой фракции растительные остатки окажутся внутри рассматриваемого объема почвы.

И если для того, чтобы повысить заглубляющую способность орудия достаточно повысить удельный вес, приходящийся на каждый рабочий орган, то для повышения качества работы необходимо изменить его конструкцию.

Изучение и анализ научно-технической литературы позволил выделить несколько основных тенденций совершенствования конструкции широкозахватных плоскорежущих рабочих органов и конструктивно-технологических схем, направленных на повышения качества их работы - повышение крошения почвы и сохранности стерни.

Первым направлением является создание конструктивно-технологических схем, сочетающих в себе одновременное, как правило, многоуровневое, воздействие на почвенный слой плоскорежущих рабочих органов в комбинации с рабочими органами для отвальной либо безотвальной обработки. Исследованиям в данном направлении посвящены работы Капова С.Н., Савельева Ю.А., Тумурханова В.В., Бойковой Е.В., Allan J. Yeomans и др. [87-97].

В соответствии с рисунком 1.11 представлен пример конструктивно-технологических схем, состоящих из плоскорежущих рабочих органов в комбинации с рабочими органами для отвальной обработки.

Конструктивно-технологическая схема сочетает в себе достоинства отвальной и безотвальной обработки. Обеспечивается более интенсивное крошение почвы и заделка сорняков в сравнении с традиционной плоскорезной обработкой. Наличие плоскорежущего рабочего органа позволяет чередовать участки «черной» почвы, лишенной растительности с ветроустойчивыми полосами, имеющими растительный покров - так называемыми стерневыми кулисами. Однако для того, чтобы обеспечить достаточное снижение скорости ветра у поверхности почвы, снижая тем самым риск развития ветровой эрозии, и накопление снежной массы, необходимо, чтобы на поверхности поля оставалось не менее пяти тонн растительных остатков на гектар.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| C:\Users\User\Desktop\авторефераты\обработка почвы\для обзора\комбинация р.о\туурхонов2.JPG | C:\Users\User\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.Word\туурхонов1.jpg | C:\Users\User\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.Word\Бойкова.jpg |
| а) | б) | в) |
|  | | |
| а) плуг-плоскорез. Вариант 1; б) плуг-плоскорез. Вариант 2; в) комбинированный рабочий орган | | |
|  | | |
| Рисунок 1.11 – Примеры конструктивно-технологических схем, состоящих из плоскорежущих рабочих органов в комбинации с рабочими органами для отвальной обработки | | |

В условиях Северного Казахстана со средней урожайностью зерновых 10-15 ц/га обеспечить такое количество пожнивных остатков на поверхности поля нереально, следовательно, оставшееся после обработки подобным орудием поле не будет иметь достаточной защиты от ветровой эрозии и возможности удержать выпавший снег. Вторым недостатком является то, что движение агрегата с подобным орудием по длине рабочего хода будет крайне неустойчивым. Как известно, почва - это гетерогенная многофазная дисперсная система. Следовательно, ее физико-механические свойства даже в пределах ширины захвата агрегата могут иметь непостоянное значение. Этот факт является причиной возникновения моментов сил, действующих в поперечном движению агрегата направлении, которые стремятся отклонить его от выбранной траектории. Это характерно для любых почвообрабатывающих агрегатов, однако применительно к рассматриваемым конструктивно-технологическим схемам данное обстоятельство будет усугубляться использованием ассиметричной схемы расположения рабочих органов, а также тем, что применяются принципиально разные по способу деформации почвы рабочие органы, а, следовательно, сопротивление, возникающее на плоскорежущем рабочем органе и рабочем органе для отвальной обработки, будет отличаться. Это, в свою очередь, будет способствовать появлению дополнительного момента, стремящегося отклонить агрегат. Третьим недостатком является повышенное удельное сопротивление почвы на единицу ширины захвата в сравнении с плоскорежущим орудием, объясняемое использованием более энергоемких отвальных рабочих органов. В связи с этим ширина захвата орудия, а значит и его производительность с рассматриваемой конструктивно-технологической схемой будет меньше, чем у традиционного плоскорежущего.

В соответствии с рисунком 1.12 представлен пример комбинации плоскорежущих рабочих органов с рабочими органами для безотвальной обработки.

|  |  |
| --- | --- |
| C:\Users\User\Desktop\авторефераты\обработка почвы\для обзора\комбинация р.о\Гаюпов.jpg | C:\Users\User\Desktop\авторефераты\обработка почвы\для обзора\комбинация р.о\Савельев.JPG |
| а) | б) |
| C:\Users\User\Desktop\авторефераты\обработка почвы\для обзора\комбинация р.о\Швец.JPG | C:\Users\User\Desktop\авторефераты\обработка почвы\для обзора\комбинация р.о\Рустембаев.JPG |
| в) | г) |
| а) конструктивно-технологическая схема плоскореза-щелевателя; б) плоскорез-глубокорыхлитель с комбинированными рабочими органами; в) приставка-рыхлитель к плоскорезу; г) плоскорежущий рабочий орган для послойного рыхления почвы с одновременным внесением минеральных  удобрений | |
|  | |
| Рисунок 1.12 – Примеры конструктивно-технологических схем, состоящих из плоскорежущих рабочих органов в комбинации с рабочими органами для безотвальной обработки | |

Поочередное многоуровневое воздействие в одной вертикальной плоскости комбинации безотвальных рабочих органов приводит к интенсивному трещинообразованию и взаимному перемещению отдельных почвенных фракций в обрабатываемом слое. Следствием этого является его повышенная степень крошения.

Недостатком, особенно в условиях Северного Казахстана, является уничтожение значительной части растительных остатков. Так, проводимые нами исследования по многоуровневой безотвальной обработке почвы комбинацией плоскорежущих и стрельчатых рабочих органов [98] показали, что после прохода на поверхности поля уничтожается большая часть растительных остатков.

В условиях обработки суглинистых слабоувлажненных почв, когда характерным для почвы является деформация отрыва с образованием отдельных фракций высокой плотности и твердости, возможным является зависание этих фракций в пространстве между плоскорежущим рабочим органом и рабочим органом для безотвальной обработки, в том случае, когда указанная комбинация рабочих органов расположена на одном несущем элементе (рисунок 1.12, в и г). Использование отдельных несущих элементов для каждого рабочего органа, установленных на достаточном для свободного прохода почвенного пласта расстоянии, устраняет данный недостаток, однако приводит к увеличению габаритных размеров, а, следовательно, и материалоемкости орудия.

Третьим недостатком, как и в предыдущем случае, является увеличение удельного сопротивления почвы на единицу ширины захвата в сравнении с плоскорежущим орудием. Результатом многоуровневого воздействия рабочих органов является возрастание площади контактируемых частей с почвенным слоем, следовательно, увеличиваются силы необходимые для преодоления сопротивления перемещению рабочих органов в почвенном слое (сила трения), для разрушения почвенного слоя и придания ему определенной скорости движения.

Вторым направлением является создание плоскорежущих рабочих органов с дополнительными конструктивными элементами, предназначенными для интерференции деформации почвенного слоя в вертикальной либо в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Исследованиям в данном направлении посвящены работы Кязимова А.Х., Максимова И.И., Хмура А.Н. и др. [99-107]. Пример плоскорежущих рабочих органов с дополнительными конструктивными элементами представлен в соответствии с рисунком 1.13.

Конструктивные элементы в соответствии с рисунком 1.13 могут быть как одностороннего (рисунок 1.13, а) так и двухстороннего действия (рисунок 1.13, б). В первом случае конструктивные элементы вызывают интерференцию деформации почвенного слоя в результате чего увеличивается степень ее крошения. Конструктивные элементы, расположенные с нижней стороны плоскорежущего рабочего органа, создают на дне борозды дополнительные щели, которые увеличивают водопоглощающую способность почвы, препятствую стоку воды по дну борозды. Применение данных конструктивных элементов обосновано при обработке склонов с крутизной более 5 град. для предотвращения развития водной эрозии почвы [100].

Применение подобных рабочих органов обосновано на почвах легкого и среднего механического состава и в период их физической спелости, когда ее физико-механические характеристики (в первую очередь влажность) содействуют энергетически наиболее выгодному и качественному крошению. Как было отмечено ранее в Северном Казахстане в осенний период, характерный для проведения глубокой обработки почвы, влажность почвы очень часто находится ниже диапазона, соответствующего физической спелости (18-22%).

|  |  |
| --- | --- |
| C:\Users\User\Desktop\авторефераты\обработка почвы\для обзора\доп конструктивные элементы\Максимов1.JPG | C:\Users\User\Desktop\авторефераты\обработка почвы\для обзора\доп конструктивные элементы\Кязимов.JPG |
| а) | б) |
| C:\Users\User\Desktop\авторефераты\обработка почвы\для обзора\доп конструктивные элементы\орешкин1.jpg | C:\Users\User\Desktop\авторефераты\обработка почвы\для обзора\доп конструктивные элементы\хмура.JPG |
| в) | г) |
| а) с односторонними вертикальными ножами; б) с двухсторонними вертикальными ножами; в) с рыхлителями, установленными на вспомогательной дугообразной рамке; г) с дополнительными ножами | |
|  | |
| Рисунок 1.13 – Примеры плоскорежущих рабочих органов с дополнительными конструктивными элементами | |

Обработка такой почвы приводит к образованию крупных почвенных фракций. Попадание этих фракций в пространство между дополнительными вертикальными ножами с высокой степенью вероятности (p → 1) будет вызывать ее заклинивание, что в свою очередь, приведет к сгруживанию почвы и нарушению технологического процесса обработки.

Так же как и в предыдущем случае наличие в обрабатываемом почвенном слое дополнительных конструктивных элементов приведет к росту удельного тягового сопротивления в сравнении с традиционным плоскорежущим рабочим органом.

Третьим направлением является создание плоскорежущих рабочих органов с криволинейными рабочими поверхностями, например, с переменным углом резания по длине лемехов или выполнение рабочих поверхности по ширине захвата в виде знакопеременных кривых. Исследованиям в данном направлении посвящены работы Кушнарева А.С., Ветохина В.И., Свечникова П.Г., Петриченко С.В. и др. [57, 108-114]. Пример плоскорежущих рабочих органов с криволинейными рабочими поверхностями представлен в соответствии с рисунком 1.14.

Рабочие органы с переменным углом резания либо с криволинейным профилем лемехов создают большее напряженное состояние в почвенном слое, чем традиционные с прямолинейной поверхностью рабочих элементов, благодаря одновременным деформациям изгиба и кручения, криволинейные лемеха (рисунок 1.13, в) устраняют залипание при обработке почв с повышенной влажностью, уменьшается ширина развальной борозды.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| C:\Users\User\Desktop\авторефераты\обработка почвы\для обзора\криволинейные\Петриченко.JPG | C:\Users\User\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.Word\Свечников 1.jpg | C:\Users\User\Desktop\авторефераты\обработка почвы\для обзора\криволинейные\Свечников2.JPG |
| а) | б) | в) |
|  | | |
| а) зубовый рабочий орган; б) рабочий орган с переменный углом резания; в) рабочий орган с криволинейным лемехом в поперечно-вертикальной плоскости | | |
|  | | |
| Рисунок 1.14 – Примеры плоскорежущих рабочих органов с криволинейными рабочими поверхностями | | |

По данным Свечникова П.Г. [114] интенсивность крошения при использовании подобных рабочих органов возрастает не менее чем на 20% в сравнении с традиционными плоскорежущими рабочими органами. Прирост тягового сопротивления от увеличения площади контакта почвы с криволинейными рабочими элементами компенсируется частичной заменой наиболее энергоемкой деформации сжатия почвы деформациями изгиба и кручения, требующих меньших затрат энергии. Однако указанный положительный эффект достигается при обработке оструктуренных почв со средним механическим составом, имеющих оптимальные значения влажности, когда основным видом стружки в обрабатываемом почвенном слое в соответствии с рисунком 1.15 является стружка сдвига либо сливная стружка. В этом случае поступающая на рабочую поверхность почва представляет собой сплошную (сливная стружка) либо ступенчатую ленту (стружка сдвига), которая может, как бы, "огибать" криволинейную поверхность рабочего органа, вызывая тем самым появление разнонаправленных деформаций. При преобладании в деформируемом слое стружки отрыва почвенный слой, двигающийся по рабочим поверхностям, состоит из отдельных почвенных фракций разнообразной формы не связанных или очень слабо связанных между собой. В результате чего дополнительное трещинообразование и разрушение отдельных фракций, двигающихся в отделенном от почвенного монолита слое, происходит, главным образом, благодаря взаимному соударению рассматриваемых почвенных фракций между собой, а не благодаря огибанию криволинейных рабочих поверхностей. Следовательно, в почвенно-климатических условиях Северного Казахстана добиться положительного эффекта от применения подобных рабочих органов при проведении глубокой плоскорезной обработки почвы в осенний период весьма сложно.

Рассмотренные способы совершенствования широкозахватных плоскорежущих рабочих органов позволяют повысить качество обработки в определенных почвенно-климатических условиях, однако выявленные недостатки не позволят добиться положительного эффекта от их применения в условиях северного региона Казахстана.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| C:\Users\User\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.Word\сдвиг.jpg | C:\Users\User\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.Word\лента.jpg | C:\Users\User\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.Word\отрыв.jpg |
| а) | б) | в) |
|  | | |
| а - глубина обработка; β - угол постановки клина ко дну борозды | | |
|  | | |
| а) стружка сдвига; в) стружка сливная (сплошная); в) стружка отрыва | | |
|  | | |
| Рисунок 1.15 – Виды почвенных стружек | | |

В соответствии с высказанной ранее научной идеей о влиянии отношения ширины захвата плоскорежущего рабочего органа к ширине зоны интерференции деформации почвы на качество ее крошения очевидным будет тот факт, что чем меньше ширина захвата плоскорежущего рабочего органа, тем выше будет процент крошения почвенного слоя. Однако помимо увеличения степени крошения почвенного слоя уменьшение ширины захвата рабочего органа будет приводить к снижению процента сохраненной на поверхности поля стерни и других растительных остатков.

Так при работе орудия ПГП-7 (конструкция и ширина захвата плоскорежущих рабочих органов аналогичная ПГ-3-5 и составляет 1,0 м) при условии соответствия фактического значения твердости обрабатываемого поля   
Тф ≤ 3,5 МПа степень сохранности стерни на поверхности поля составляет в среднем 85 % [115, 111]. Уменьшение ширины захвата плоскорежущего рабочего органа при условии сохранения значений других конструктивных параметров, влияющих на качество обработки, будет сопровождаться изменением процента сохраненной стерни в соответствии с рисунком 1.16.

Зависимость, представленная на рисунке 1.16, описывает идеальный случай, при котором не происходит оборота отдельных почвенных фракций и засыпания растительных остатков, что является неизбежным в реальных условиях. Уменьшение процента сохраненной стерни объясняется исключительно возросшим количеством развальных борозд по следу стоек плоскорежущих рабочих органов. Тем не менее, данная зависимость дает наглядное представление о характере протекания процесса при изменении ширины захвата рабочего органа. Уменьшение ширины захвата плоскорежущего рабочего органа неизбежно влечет за собой уменьшение процента сохраненной стерни. Поэтому отказ от широкозахватных плоскорежущих рабочих органов в пользу рабочего органа с меньшей шириной захвата - это компромиссное решение, необходимое для обеспечения качественной обработки почвенного слоя с тяжелым физико-механическим составом в соответствии с агротехническими требованиями при условии сохранения достаточного количества на поверхности поля растительных остатков. Для того, чтобы избежать путаницы в дальнейшем будем называть данные рабочие органы - плоскорежущие рабочие органы с повышенным крошащим эффектом.

|  |
| --- |
|  |
|  |
| Рисунок 1.16 – Влияние ширины захвата плоскорежущего рабочего органа  (Вр, м) на степень сохранности растительных остатков (С, %) |

Данный вид плоскорежущих рабочих органов нашел широкое распространение в технологиях обработки солонцовых почв, которые ввиду своих физиологических особенностей, имеют отрицательные физико-механические, агрофизические, гидрологические и технологические свойства. Так, твердость солонцового слоя в сухом состоянии в период проведения глубокой механической обработки может достигать 5-8 МПа [117]. В связи с этим рассмотрение подобных рабочих органов применительно к обработке уплотненных почв, имеющих схожие характеристики, представляет особый интерес.

Большой вклад в разработку технико-технологических основ обработки солонцовых почв внесли отечественные ученные Кулебакин П.Г., Пыльник П.А., Беллер В.Х., Терпиловский А.Ю., Бенкендорф А.Е., Дерепаскин А.И., Ягупов М.К., Нурушев С.З. и др. [117-129]. В разработанном комплексе машин для основной обработки солонцовых почв наибольшее распространение получили ассиметричные (стойка СибИМЭ или ЛП-0,35) и симметричные плоскорежущие рабочие органы (стойка РСН и РСП).

В соответствии с рисунком 1.17 отличительной чертой стойки СибИМЭ является наличие только одного лемеха.

|  |  |
| --- | --- |
| C:\Users\User\Desktop\авторефераты\обработка почвы\для обзора\солонцы\dobrynya.jpg | Плуг 8-ми корпусный навесной с СибИМЭ (ПН-8-35) |
| а) | б) |
|  | |
| а) ассиметричный плоскорежущий рабочий орган (стойка СибИМЭ или ЛП-0,35); б) плуг навесной ПН-8-35 со стойками СибИМЭ | |
|  | |
| Рисунок 1.17 – Ассиметричный плоскорежущий рабочий орган и орудие | |

Такое конструктивное решение позволило устанавливать данные рабочие органы вместо традиционных корпусов на отвальные плуги и использовать их при обработке солонцовых почв [118]. Их использование обеспечивает крошение почв в соответствии с агротребованиями при удельном сопротивлении почвы до 90 кН/м2. Недостатком является низкая сохранность стерни после прохода агрегата. Основной причиной является образование большого количества развальных борозд по следу стоек, так плуг ПН-8-35 с рассматриваемым рабочим органом (рисунок 1.17, б) при конструктивной ширине захвата 2,8 м, имеет 8 рабочих органов (ширина захвата стойки СибИМЭ - 0,35 м).

Вторым недостатком является то, что ассиметричная конструкция рабочего органа позволяет располагать их на раме орудия только по плужной схеме, что ограничивает возможности компановки рабочих органов на раме орудия, расположения дополнительных рабочих органов, например прикатывающего катка, а также плужная схема будет вызывать дополнительные боковые возмущения, стремящиеся отклонить агрегат от установленного направления движения.

Симметричный плоскорежущий рабочий орган, в соответствии с рисунком 1.18 (стойка РСН и РСП), устанавливался на рыхлители серии РСН (РСН-1,5; РСН-3,0) и РСП (РСП-4,2 и РСП 5,4). Ширина захвата рабочего органа составляет 0,5-0,6 м (соответственно для РСН и РСП).

|  |  |
| --- | --- |
| C:\Users\User\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.Word\IMG_1688.jpg | C:\Users\User\Desktop\авторефераты\обработка почвы\для обзора\солонцы\РСН.jpg |
| а) | б) |
|  | |
| а) симметричный плоскорежущий рабочий орган (стойка РСН); б) рыхлитель РСН-3,0 и схема расположения его рабочих органов | |
|  | |
| Рисунок 1.18 – симметричный плоскорежущий рабочий орган | |

Отличительной чертой конструктивно-технологической схемы расположения рабочих органов на рыхлителях серии РСН являлось наличие между стойками плоскорежущих рабочих органов чизельных рабочих органов, необходимых для обеспечения дополнительного перемешивания и крошения солонцового и подсолонцового горизонтов.Увеличение ширины захвата способствовало снижению удельного сопротивления, так как уменьшалось количество рабочих органов на единицу ширины захвата, а, следовательно, уменьшалось количество контактируемых с почвой рабочих поверхностей. Степень крошения обрабатываемого почвенного слоя при этом соответствовала агротехническим требованиям.

Однако, исследования, проведенные в НПО "Целинсельхозмеханизация" показали [130], что наличие чизельных стоек не оказало значительного влияния на качество обработки почвенного слоя. Так, дополнительное крошение от их воздействия на почвенный слой составило не более 5%, тогда как тяговое сопротивление на них составило 19 % от суммарного тягового сопротивления орудия, кроме того происходила заделка значительного количества растительных остатков. Стойка РСП в настоящее время получила наибольшее распространение, в том числе и при обработке уплотненных стерневых полей. Сравнительные испытания различных видов рабочих органов для глубокой безотвальной обработки [131], проведенные на полях Костанайской области, показали лучшее качество работы при минимальных затратах энергии.

Испытания, проведенные с участием автора показали, что крошение почвенного слоя составляет 65-75 %, обеспечивается высокая заглубляющая способность рабочих органов при обработке почвы с твердостью до 7-8 МПа. При рабочей скорости 6-7 км/ч процент сохраненной стерни составляет 62-68 % [132], что соответствует агротехническим требованиям.

Однако в соответствии с рисунком 1.19 агрегатирование с такой скоростью движения является неэффективным с точки зрения эксплуатационно-технологических и экономических критериев оценки.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| а) | б) |
|  |  |
| в) | г) |
|  | |
| а) скорость движения - производительность; б) скорость движения - удельный расход топлива; в) скорость движения - совокупные затраты денежных средств; г) скорость движения сохранность стерни | |
|  | |
| Рисунок 1.19 – Влияние рабочей скорости движения на эксплуатационно-технологические, энергетические и агротехнические показатели работы стойки РСП (агрегат К-744Р2+РСП-5,4) | |

При увеличении скорости агрегатирвоания с 6 до 10 км/ч (агротехнически максимально допустимая) происходит уменьшение удельного расхода топлива на 39,9 % и следовательно сокращение совокупных затрат денежных средств на 37,7 %. При этом степень сохранности растительных остатков соответствует агротехническим требованиям на скоростях движения не более 7 км/ч.

Выявленное противоречие является актуальной для северного региона Казахстана научной проблемой, поскольку ее решение позволит повысить качество обработки уплотненных стерневых фонов при одновременном повышении производительности и снижении совокупных затрат денежных средств.

## 1.6 Результаты существующих исследований по обоснованию значений основных конструктивных параметров плоскорежущих рабочих органов и обоснование выбора направления исследования

Решение обозначенной выше проблемы заключается в увеличении ширины захвата плоскорежущего рабочего органа для уменьшения количества развальных борозд, приходящихся на единицу ширины захвата, с одновременным изменением расстояния в продольной горизонтальной плоскости между режущей кромкой долота и лемехов для оптимизации отношения ширины зоны интерференции деформации почвенного слоя и ширины захвата плоскорежущего рабочего органа. Указанные мероприятия позволят добиться увеличения степени сохранности растительных остатков, не снижая при этом степень крошения почвенного слоя при одновременном увеличении производительности.

Проведенный в п.п. 1.5 анализ существующих рабочих органов для глубокой плоскорезной обработки уплотненных почв показал, что наиболее работоспособной конструкцией является плоскорежущий рабочий орган типа РСП (модификация РСН), поэтому в качестве базового варианта для запланированных исследований было принято решение взять именно его.

Данный рабочий орган имеет стандартную симметричную конструкцию. Составными частями рабочего органа являются стойка с установленными вертикальным ножом, к нижней части стойки приварен башмак, на которой, в свою очередь, закреплены два лемеха и долото. Профиль рабочих поверхностей долота и лемехов плоский.

Поскольку в основу плоскорежущего рабочего органа положен трехгранный клин, его форма и положение в пространстве будет определяться углом постановки рабочей поверхности клина ко дну борозды *α*(угол крошения),углом рабочей поверхности клина *γ* (угол раствора) и длиной рабочей поверхности *l*. От значения указанных параметров напрямую зависят агротехнические и энергетические показатели работы плоскорежущего рабочего органа.

Указанные конструктивные параметры составляют основу не только плоскорежущих, но и большинства других видов рабочих органов для механической обработки почвы, нахождению их оптимальных значений посвящено множество работ.

Необходимо отметить, что под оптимальным подразумевается такие параметры клина, при которых обеспечиваются минимальные затраты энергии при условии соответствия качественных показателей установленным агротехническим требованиям.

Максимальное значение угла *α*ограничивается следующим условием [58]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.4) |

где – - угол трения почвы по стали, град.

В том случае, если сумма углов и *α* превысит 90 градусов прекратится скольжение почвенного пласта по рабочей поверхности клина и в соответствии с рисунком 1.20 [58] будет происходить его сгруживание впереди.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| E:\Учеба\Докторантура\_Попытка № 4 2017 год\Диссертация\сгруживание почвы\трещина отрыва.jpg | E:\Учеба\Докторантура\_Попытка № 4 2017 год\Диссертация\сгруживание почвы\начало сгруживания.jpg | E:\Учеба\Докторантура\_Попытка № 4 2017 год\Диссертация\сгруживание почвы\сгруживание.jpg |
|  |  |  |
| а) | б) | в) |
|  |  |  |
| а) образование в почве трещины отрыва; б) начало сгруживания почвы; в) окончательно сгруживание почвы | | |
|  | | |
| Рисунок 1.20 – Воздействие на суглинистую почву клина с углом град. | | |

В соответствии с рисунком 1.21 результаты экспериментальных исследований [58], проводимые с двухгранным клином при *h – const.* и *b– const.* при глубине обработки 30-50 см показали, что оптимальным является клин с углом *α*= 20-25 град.

|  |
| --- |
|  |
| а1 = 0,32 м; а2 = 0,42 м; а3 = 0,51 м |
|  |
| Рисунок 1.21– Влияние глубины обработки (а) и угла крошения (*α*) на удельное сопротивление почвы (k) |

Исследованию влияния скорости движения и угла *α* на удельное сопротивление и агротехнические показатели посвящены исследования [133]. Установлено, что при работе клина на глубину более 15 см в тяжелосуглинистом черноземе оптимальными являются следующие значения угла : 25-27 град. при скорости 2,0 м/с; 23-25 град. при скорости 2,5 м/с; 21-23 град. при скорости 3,1 м/с и 20-21 град. при скорости 3,9 м/с.

В работе [134] авторы для обработки тяжелых по механическому составу почв рекомендуют величину угла *α* = 25-30 град. В работе [135] автором определен оптимальный угол крошения плоскорежущего рабочего органа для мелкой обработки легких почв Павлодарской области в пределах 12-18 град. Угол раствора плоскорежущего рабочего органа *γ* должен составлять – 40 град. В работе [65] получены оптимальные значения угла крошения для поверхностной плоскорезной обработки почвы, которые должны находиться в пределах 22-27 град., угол раствора *γ* – 30-40 град.

Поскольку плоскорежущие рабочие органы, рассматриваемые в работах [65, 135] предназначены для обработки почвы на глубину не более 15 см и в процессе работы должны обеспечивать не только качественное крошение обрабатываемого почвенного слоя с минимальными затратами энергии, но и сплошное подрезание сорных растений без обволакивания лезвий рабочих органов их корнями, угол раствора *γ* определяется по следующему выражению [58, 133]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.5) |

где - угол трения сорного растения по металлу, град.

В том случае, если условие, представленное в выражении (1.5), не будет выполнено лобовое сопротивление почвы *Рп*, оказывающее воздействие на стебель сорного растения (точка О), в соответствии с рисунком 1.20 будет проходить внутри угла трения *NOA* (рисунок 1.22, б) и сила *Рп* не сможет вызвать скольжение сорняка вдоль лезвия.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| а) | б) |
|  | |
| а) резание стебля со скольжением ();  б) резание стебля без скольжения () | |
|  | |
| Рисунок 1.22 – Схема к обоснованию значения угла *γ* у плоскорежущего рабочего органа для поверхностной и мелкой обработки почвы | |

Однако, при глубокой обработке почвы отпадает необходимость выполнения условия, представленного в формуле (1.5) по нескольким причинам. Во-первых, с увеличением глубины обработки возрастает связь корневой системы сорных растений с почвой, так как вес, плотность почвенного слоя и оказываемый лезвию рабочего органа подпор со стороны необработанной почвы с увеличением глубины становятся больше. В этом случае перерезание сорняка будет происходить в условии защемленного резания и условие обеспечения скольжения корня сорного растения не является определяющим. Во-вторых, основная масса корневой системы располагается в верхнем слое почвы на глубине 0-15 см.

При выборе угла раствора *γ* для плоскорежущего рабочего органа для глубокой обработки почвы определяющим фактором является обеспечение минимальных энергозатрат.

В этом случае, на наш взгляд, наиболее развернутое обоснование угла γ представлено в работе Синеокова[58, 75].

Так автор при отсутствии у клина затылочной фаски его общее тяговое сопротивление представляет как сумму, состоящую из трех слагаемых:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.6) |

где - сопротивление, обусловленное внедрением и деформацией почвенного слоя рабочей поверхностью клина, Н;

- динамическое сопротивление, обусловленное инерцией пласта, Н;

- сопротивление, обусловленное весом почвенного слоя и его трением о рабочую поверхность клина, Н.

Слагаемое будет зависеть от глубины и ширины обрабатываемого почвенного слоя и обобщенного коэффициента, зависящего от физико-механических свойств почвы и угла крошения :

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.7) |

где *k –* коэффициент характеризующий удельное сопротивление почвы при деформации клином с известными параметрами, Н/м2;

*a –* глубина обработки, м;

*b –* ширина клина, м.

Определение обобщенного коэффициента *k*возможно только опытным путем для конкретных почв при известном угле крошения .

Сопротивление можно определить по следующему выражению:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.8) |

где - плотность почвенного слоя, кг/м3;

- коэффициент трения почвы по стали;

- ускорение свободного опадения, м/с2.

Выражение для нахождения сопротивление имеет следующий вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.9) |

где*l* – длина рабочей плоскости клина, м.

Как видно из выражений (1.8) и (1.9) изменение угла раствора *γ* оказывает влияние на оба слагаемых уравнения (1.6) - и . Влияние суммы сопротивлений и на величину угла раствора *γ* представлены в соответствии с рисунком 1.23 (a = 0,25 м, b = 1,0 м, l = 0,3 м, = 1300 кг/м3, v = 2,0 м/с).

|  |
| --- |
|  |
|  |
| Рисунок 1.23 – Влияние угла раствора (*γ) и* угла крошения () на составляющие тягового сопротивления клина |

Увеличение угла раствора γ до определенного значения (γ = 50-60 град.) приводит к снижению суммы что при*b – const.* можно объяснить тем, что из-за снижения площади контакта почвенного слоя с рабочей поверхностью клина наблюдается снижение сопротивления. Дальнейшее увеличение угла раствора γ приводит к росту суммарного тягового сопротивления, из-за приращения динамического сопротивления .

Бурченко [133] объясняет рост тягового сопротивления клина при значениях угла раствора γ ˃ γопт. ухудшением скольжения почвы по рабочей поверхности клина и ее сгруживанием.

Следовательно, оптимальным значением угла γ при глубокой обработке почвы по критерию минимальной энергоемкости является γ = 50-60 град.

Максимальная длина рабочей поверхности клина *l* Синеоковым [58] определяется исходя из условия отсутствия сгруживания почвы по следующей формуле:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.10) |

где - предел прочности почвы при сжатии, кПа.

Значение для суглинистой почвы составляют 65-108 кПа в зависимости от глубины обработки [52].

Длина клина и высота его подъема связаны следующей зависимостью:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.11) |

где - высота подъема клина (высота свода), м.

Следовательно:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1.12) |

На основании проведенных исследований [65] Грибановский установил, что для мелкой и поверхностной плоскорезной обработки почвы оптимальная длина лемеха должна составлять = 80-135 мм, высота свода = 33-45 мм. По данным Плишкина [134] для глубокой обработки почвы оптимальными являются следующие параметры*:*  = 130-155 мм, = 55-65 мм

При указанных параметрах обеспечиваются минимальная сгруженность почвы и максимальная заглубляющая способность при условии обеспечения качества обработки агротехническим требованиям.

Важным конструктивным элементом плоскорежущего рабочего органа является стойка. Ее наличие объясняется в первую очередь несущей функцией, однако располагаясь на оси симметрии рабочего органа непосредственно под лемехами и долотом, данный конструктивный элемент взаимодействует с почвенным слоем по всей глубине обработки. Одной из возможных форм такого взаимодействия, является образование почвенного нароста на ее лобовой части. Данный нарост приводит к росту тягового сопротивления, поэтому при определении конструктивных параметров плоскорежущего рабочего органа необходимо учитывать вероятность его образования. Термин «почвенный нарост» принят по аналогии с используемым в теории резании грунтов термином «грунтовый нарост». Именно в данной области знаний был наиболее подробно изучен процесс наростообразования на поверхностях рабочих органов землеройных машин.

Так в работах [73, 74] авторы установили, что в процессе движения вертикального ножа перед его рабочей поверхностью образуется грунтовый нарост клиновидной или криволинейной формы. В результате этого воздействие на недеформированный грунт в соответствии с рисунком 1.24 осуществляется не рабочей поверхностью ножа, а образовавшимся наростом.

Причем образование данного нароста характерно не только для рабочих поверхностей перпендикулярных направлению движения, но и для поверхностей расположенных под углом (двухсторннем или односторонним) к направлению движения, если только этот угол не меньше определенного критического значения. Нарост образуется сразу же после начала движения и не зависит от скорости движения ножа в грунте. Результаты исследований [73] на глинистых и супесчаных почвах показали, что образование грунтового нароста происходит в том случае, когда угол симметричной заточки вертикального ножа превышает 45 град.

Значение рассмотренных выше конструктивных параметров наиболее распространенных плоскорежущих рабочих органов для глубокой обработки почвы, в том числе плоскорежущего рабочего органа типа РСП представлено в таблице 1.3.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| E:\Учеба\Докторантура\_Попытка № 4 2017 год\Диссертация\Раздел 1\графические материалы\почвенный нарост на верт ноже\общий вид верт ножа.jpg  2  1  2  2  2  αЗ  αЗ  αЗ  1  1  1  1 | E:\Учеба\Докторантура\_Попытка № 4 2017 год\Диссертация\Раздел 1\графические материалы\почвенный нарост на верт ноже\180 град.jpg | E:\Учеба\Докторантура\_Попытка № 4 2017 год\Диссертация\Раздел 1\графические материалы\почвенный нарост на верт ноже\90 град.jpg | E:\Учеба\Докторантура\_Попытка № 4 2017 год\Диссертация\Раздел 1\графические материалы\почвенный нарост на верт ноже\60 град.jpg | E:\Учеба\Докторантура\_Попытка № 4 2017 год\Диссертация\Раздел 1\графические материалы\почвенный нарост на верт ноже\45 град.jpg |
| а) | б) | в) | г) | д) |
|  | | | | |
| 1- вертикальный нож; 2- грунтовый нарос; αЗ – угол заточки рабочей поверхности ножа | | | | |
|  | | | | |
| а) общий вид; б) αЗ = 180 град.; в) αЗ = 90 град.; г) αЗ = 60 град. д) αЗ = 45 град. | | | | |
|  | | | | |
| Рисунок 1.24 – Образование грунтового нароста на рабочей поверхности вертикального ножа | | | | |

Представленные в таблице 1.3 данные позволяют сделать вывод о том, что конструктивные параметры плоскорежущего рабочего органа являются оптимальными и соответствуют современному уровню знаний о физических процессах, протекающих в почве при взаимодействии с плоскорежущими рабочими органами.

Таблица 1.3 – Техническая характеристика плоскорежущих рабочих органов для глубокой обработки почвы

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Показатель | Значение показателя | | | | |
| КПГ-250 | КПГ-2-150 | ПГ 3-100 | ПГ 3-5 | РСП-4,2 |
| Угол наклона долота и лемехов к горизонту, град. | 25 | 25 | 25 | 25 | 23 |
| Угол раствора лемехов в горизонтальной плоскости, град. | 100 | 100 | 100 | 100 | 120 |
| Длина лемеха, м | 155 | 155 | 155 | 155 | 160 |
| Высота подъема лемеха, м | 65 | 65 | 65 | 65 | 67 |
| Ширина захвата рабочего органа, м | 1,1 | 1,6 | 1,1 | 1,1 | 0,6 |
| Угол заточки передней части стойки, град. | 180 | 180 | 70 | 70 | 40 |
| Глубина обработки, м | 16-30 | 16-30 | 16-30 | 16-30 | 16-30 |
| Скорость агрегатирования, м/с | 2,0-2,2 | 2,0-2,2 | 2,0-2,5 | 2,0 | 2,5 |

Однако, в настоящее время недостаточно изучен вопрос о влиянии взаимного положения долота и лемехов плоскорежущего рабочего органа на его крошащую способность, несмотря на имеющиеся работы в данном направлении.

Например, в работе [136] автором установлено влияние конструктивных параметров долота на качественные показатели работы, а именно разброс почвы и степень сохранности стерни. С целью уменьшения величины развальной борозды в соответствии с рисунком 1.25 предложена форма долота в виде спаренного трехгранного клина с углом резания 40-45 градусов, углом раствора 30 градусов и шириной верхней части 80-90 мм. Рост тягового сопротивления, возникающий из-за увеличения количества рабочих граней долота, предлагается частично устранить благодаря полимерному покрытию подлапника и стойки плоскорежущего рабочего органа. Однако, представленные в работе результаты сравнительных испытаний плоскорежущего рабочего органа с экспериментальным долотом и производственного образца (рабочий орган КПП-2,2) показывают, что степень крошения почвенного слоя в двух вариант оставалась неизменной.

В большинстве работ использование долота в конструкции рабочих органов объясняется преимущественно обеспечением заглубления последнего в почвенный слой, благодаря созданию зоны повышенного напряжения. В большинстве имеющихся математических моделей, описывающих взаимодействие плоскорежущего рабочего органа с почвенным слоем, используется модель двух или трехгранных клиньев без учета воздействия долота [57, 58, 133, 137].

|  |  |
| --- | --- |
| C:\Users\User\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.Word\1.jpg | C:\Users\User\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.Word\а-а.jpg |
| б) |
| C:\Users\User\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.Word\в-в.jpg |
| а) | в) |
|  |  |
| а) общий вид экспериментального долота; б) сечение А-А; в) сечение В-В | |
|  | |
| Рисунок 1.25 – Экспериментальное долото плоскорежущего рабочего органа | |

Поэтому проведение исследований, которые позволят установить закономерность между изменением крошения почвенного слоя и расстоянием в продольной горизонтальной плоскости между режущей кромкой долота и лемехов, и, следовательно, определить оптимальные параметры плоскорежущего рабочего органа, позволяющие увеличить сохранность стерни, не снижая при этом степень крошения почвенного слоя при одновременном увеличении производительности, являются актуальными для современного этапа развития агротехнической науки.

При проведении исследований необходимо учитывать тот факт, что более 70 % площадей сельскохозяйственного назначения северного Казахстана находится в собственности средних (площадь 4000-15000 га) и крупных (более 15000 га) хозяйств [138], для которых в соответствии с рекомендациями по применению комплексов машин [139-141] оптимальным энергетическим средством при проведении глубокой обработки почвы являются трактора тягового класса 6.

## 1.7 Цель и задачи исследований

Выявлено противоречие, которое заключается в том, что большинство существующих конструкций плоскорежущих рабочих органов не могут обеспечить обработку уплотненных почв при условии соответствия ее качества агротехническим требованиям. А плоскорежущий рабочий орган типа РСП, который обеспечивает качественную обработку, имеет низкую производительность.

Рабочая гипотеза. Устранение обозначенного противоречия заключается в увеличении ширины захвата плоскорежущего рабочего органа для уменьшения количества развальных борозд, приходящихся на единицу ширины захвата, с одновременным изменением расстояния в продольной горизонтальной плоскости между режущей кромкой долота и лемехов для оптимизации отношения ширины зоны интерференции деформации почвенного слоя и ширины захвата плоскорежущего рабочего органа. Указанные мероприятия позволят добиться увеличения степени сохранности растительных остатков, не снижая при этом степень крошения почвенного слоя.

Научная проблема. Движение плоскорежущего рабочего органа в почвенном слое приводит к образованию в последнем напряжений, в том случае когда, значение напряжения превышает предельные для данной почвы, целостность почвенного слоя нарушается и происходит его разделение (разрушение) на отдельные составляющие, то есть крошение. Причем первоначальное воздействие на почвенный слой оказывает долото. Однако, в настоящее время отсутствуют знания о влиянии взаимного расположения долота и лемехов на зону распространения напряжений, приводящих к разрушению почвенного слоя.

В связи с этим была определена цель исследований.

Цель исследований – повышение производительности не менее чем на 10% на основной обработки уплотненных почв за счет создания орудия к трактору тягового класса 6.

Для достижения поставленной цели при проведении исследований ставились следующие задачи:

1. Разработать математические модели для определения напряжений, возникающих в почвенном слое под воздействием консольной части долота и для определения тягового сопротивления плоскорежущего рабочего органа и орудия в целом.

2. Обосновать основные параметры плоскорежущего рабочего органа и орудия для основной обработки уплотненных почв.

3. Выявить закономерность изменения агротехнических, энергетических и эксплуатационно-технологических показателей в зависимости от обоснованных параметров плоскорежущего рабочего органа, орудия и скорости движения.

4. Оценить экономическую эффективность применения нового орудия для основной обработки уплотненных почв в сравнении с существующим аналогом.

Объектом проведенных исследований являлся технологический процесс взаимодействия плоскорежущего рабочего органа с почвенным слоем.

Предметом исследований являлись закономерности изменения агротехнических и энергетических показателей плоскорежущего рабочего органа и орудия в целом от значения его конструктивных параметров и режима работы.

## 1.8 Выводы по первому разделу

1. Особенностью северного региона Республики Казахстан является равнинный рельеф местности, значительное число ветреных дней в году, периодически повторяющаяся летняя засуха и преобладание почв с тяжелым механическим составом (тяжело и среднесуглинистые).

2. Установлено, что в данном регионе существует проблема повышенной твердости почвенного слоя – до 5-6 МПа. Поэтому для поддержания корнеобитаемого слоя почв с тяжелым механическим составом в оптимальном состоянии требуется проведение глубокой безотвальной обработки на глубину 25-27 см.

2. Анализ существующих конструкций почвообрабатывающих рабочих органов для безотвальной обработки показал, что в рассматриваемых почвенно-климатических условиях наиболее применимы с точки зрения соблюдения агротехнических требований именно плоскорежущие рабочие органы.

3. Наиболее распространенным является широкозахватный плоскорежущий рабочий орган с шириной захвата 0,9-1,0 м, который обеспечивает качественное выполнение технологического процесса на почвах с твердостью до 3,5 МПа. При обработке данным рабочим органом почв с повышенной твердостью качество обработки резко снижается и перестает соответствовать агротехническим требованиям.

4. Совершенствование существующих конструкций широкозахватных плоскорежущих рабочих органов, направленных на повышения качества их работы, не обеспечивают требуемого качества обработки (крошение почвенного слоя и сохранность стерни) при обработке суглинистых почв с повышенной твердостью.

5. Требуемое крошение почвенного слоя и сохранность стерни в рассматриваемых условиях может обеспечить плоскорежущий рабочий орган типа РСП с шириной захвата 0,6 м, изначально разрабатывавшейся для обработки солонцовых почв (с твердостью до 8 МПа). Однако, его скорость движения не должна превышать 7 км/ч.

6. Выявленное противоречие является актуальной для северного региона Казахстана научной проблемой, поскольку ее решение позволит повысить качество обработки уплотненных стерневых фонов при одновременном повышении производительности

7. Устранение обозначенного противоречия заключается в увеличении ширины захвата плоскорежущего рабочего органа для уменьшения количества развальных борозд, приходящихся на единицу ширины захвата, с одновременным изменением расстояния в продольной горизонтальной плоскости между режущей кромкой долота и лемехов для оптимизации отношения ширины зоны интерференции деформации почвенного слоя и ширины захвата плоскорежущего рабочего органа.

# 2 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ ОРУДИЯ ДЛЯ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ УПЛОТНЕННЫХ ПОЧВ К ТРАКТОРУ ТЯГОВОГО КЛАССА 6

В общем виде проводимые в рамках той или иной темы научные исследования можно разделить на три основных этапа:

- подготовительный этап;

- этап получения новых знаний об объекте исследований и их математическое описание;

- этап эмпирической проверки адекватности полученных знаний или этап верификации.

Анализ работ по обоснованию конструктивных параметров и режимов работы почвообрабатывающих рабочих органов и машин, представленных в разделе 1, и проведенный дополнительно показывает, что в большинстве случаев структурная схема исследований может быть представлена в соответствии с рисунком 2.1

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 2.1 – Структурная схема проведения исследований (вариант № 1) |

Данная схема предполагает, что к моменту начала проведения исследовательских работ накоплен достаточный объем знаний, который позволяет получить все необходимые закономерности, следовательно, определить конструктивные параметры рабочих органов и машин, а также режимы их работы на этапе теоретических исследований. Экспериментальные исследования в этом случае предназначены для проверки адекватности полученных теоретических закономерностей и уточнения определенных конструктивных параметров и режимов работы.

В нашем случае для получения отдельных знаний о закономерностях взаимодействия рабочих органов с почвой применялись не только теоретические, но и экспериментальные исследования в лабораторных условиях. Поскольку математическое описание некоторых процессов, происходящих в почве под воздействием рабочих органов, например, трещинообразование, является трудновыполнимой задачей на современном этапе развития науки. Теоретические исследования при обосновании некоторых параметров рабочих органов были необходимы для определения их предельных значений, а экспериментальные исследования в лабораторных условиях – для определения оптимального.

Таким образом, в соответствии с рисунком 2.2 этап получения новых знаний в рамках выполнения данной работы был основан на теоретико-экспериментальных исследованиях.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 2.2 – Структурная схема проведения исследований (вариант № 2) |

В соответствии с написанным выше была разработана программа исследований по определению параметров орудия для основной обработки уплотненных почв, представленная в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Программа проведения исследований по определению параметров орудия для основной обработки уплотненных почв

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Определяемый параметр | Критерий оценки | Способ  определения | Способ проверки и уточнения |
| ширина захвата плоскорежущего рабочего органа и длина консольной части долота | - крошение почвы  - тяговое сопротивление | теоретически и экспериментально в полевых условиях | экспериментально в полевых условиях |
| удельная конструктивная масса орудия | - заглубляющая способность;  - равномерность глубины обработки | теоретически | экспериментально в полевых условиях |
| ширина захвата орудия и скоростной режим работы орудия с трактором заданного тягового класса | - удельная металлоемкость;  - равномерность глубины обработки;  - производительность;  - тяговое сопротивление;  - удельный расход топлива;  - крошение почвы;  - сохранность стерни | теоретически | экспериментально в полевых условиях |

Теоретические и экспериментальные исследования, необходимые для получения новых знаний и их верификации были основаны на всеобщих и общенаучных методах научного познания [142] таких как анализ, синтез, абстрагирование, обобщение, измерение, физическое и математическое моделирование, физический эксперимент. Указанные методы базировались на положениях классической механики, механики сплошной среды и земледельческой механики, а также положениях действующей нормативной документации, которые устанавливают порядок экспериментального определения агротехнических, энергетических и эксплуатационно-технологических показателей работы почвообрабатывающих машин.

## 2.1 Выбор расчетной модели почвенного слоя

В естественном состоянии почва представляет полидисперсное структурное образование, состоящее из трех основных частей или фаз - твердой, жидкой и газообразной. Твердая фаза составляет скелет почвы, жидкая и газообразная фаза - это заполнитель, которым заполнено пространство между твердыми частицами почвы. Помимо трех указанных фаз в почве присутствует большое количество представителей почвенной микрофлоры и микрофауны - "живая фаза" почвы. Соотношение этих фаз определяет физико-механические и агробиологические свойства почвы. Многофазное строение почвенного слоя обуславливает различие свойств рассматриваемой среды (анизотропию) при протекании реальных физических и механических процессов. В связи с этим прежде чем переходить к рассмотрению закономерностей взаимодействия плоскорежущих рабочих органов с почвой необходимо выбрать расчетную модель, которая позволяла бы имитировать поведение реальной почвы и прогнозировать ее реакцию на внешнее силовое воздействие.

Поскольку реальный почвенный слой в естественном состоянии не является монолитом и имеет сложное строение на микро и макроуровнях создание его идентичной математической модели является весьма сложной задачей. В механике почвогрунтов принято допускать некоторые упрощения и рассматривать идеализированные среды [143, 144]. По Гольдштейну все многообразие существующих моделей почвогрунтов можно свести к двум: модели сплошной и дискретной среды.

При рассмотрении почвы как сплошной среды делается допущение о том, что данная среда непрерывным образом заполняет рассматриваемую часть пространства. Применение модели сплошной среды позволило Горячкину и его последователям перенести во вновь созданную дисциплину целый ряд решений, полученных в механике сплошной среды, например, использование основных уравнений механики твердого тела, векторного анализа, теорий напряжений и деформаций [145, 146]. Использование решений, найденных в механике сплошной среды в земледельческой механике во многих случаях позволяет изучить и объяснить закономерности взаимодействия почвообрабатывающих рабочих органов с почвой.

Дискретная среда подразумевает наличие в рассматриваемом почвенном слое множество отдельных микро и макроскопических агрегатов, которое связано между собой агрегатными связями. При взаимодействии с почвенным слоем почвообрабатывающего рабочего органа в дискретной модели учитывается анизотропные свойства почвенного скелета (твердая фаза) и наполнителя (жидкая и газообразная фаза). Применение модели дискретной среды, необходимое в том случае, когда изучается взаимодействие макроскопических сред как результата взаимодействия большого количества отдельных частиц , основано на положениях статистической механики, которая, в свою очередь, базируется на теории вероятностей и математической статистике. Например, в работе [108] сделана попытка использовать статистические методы для количественной оценки крошения почвы плоскорежущими рабочими органами. В работе [147] описание почвы как дискретной среды используется для описания закономерности изменения ее физико-механических свойств (в первую очередь плотности) при деформации и последующем крошении. Также описанию математических моделей почвы как дискретной среды на основе статистических методов посвящены работы [148, 149].

В сравнении со сплошной моделью почвенного слоя преимуществом дискретной модели является то, что она в большей степени соответствует реальным процессам, происходящим в почве. Однако в земледельческой механике наибольшее распространение получила именно модель сплошной среды как более простая и обладающая в большинстве случаев достаточной степенью точности. Так, в работе [39] говорится о том, что в применение почвы как сплошной среды обосновано в том случае, когда сторона единичной квадратной площадки, для которой рассчитывается напряжение, превосходит диаметр частиц почвогрунта не менее чем в 20-30 раз. То есть, при рассмотрении единичной площадки со стороной в 1 см частицы почвогрунта должны иметь размер не более 0,5-1,0 мм. Учитывая тот факт, что более 90 % почв сельскохозяйственного назначения в северном Казахстане представлены суглинистыми почвами с преобладанием частиц глины размером не более 0,01 мм, использование данной расчетной модели почвенного слоя для дальнейших исследований считаем обоснованным.

## 2.2 Математическая модель для определения напряжений, возникающих в почвенном слое под воздействием консольной части долота

В соответствии с научной гипотезой, изложенной в п.п. 1.3 общее качество крошения почвенного слоя плоскорежущим рабочим органом (К., %) будет зависеть от соотношения площади зоны интерференции деформации почвенного слоя (SИ.Д, м2) в поперечно-горизонтальной плоскости, расположенной на глубине hЛ (расстояние от дневной поверхности до режущей грани лемехов) и площади почвы, обрабатываемой плоскорежущим рабочим органом (SО, м2), в соответствии с рисунком 2.3. В том случае, когда SИ.Д./ SО. → 1, К→ КMAX.

Значение SИ.Д (м2) будет зависеть от длины консольной части долота (м) в соответствии с рисунком 2.3. Рассмотрим долото как двухгранный клин с плоской рабочей плоскостью, следовательно, основными конструктивными параметрами долота будут длина долота (, м), ширина долота (, м) и угол наклона долота к горизонту (, град.).

Максимальную длина долота (м) определим исходя из условия отсутствия сгруживания почвы в соответствии с формулой (1.10):

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| а) | б) |
|  | |
| а) вид рабочего органа сзади; б) вид рабочего органа спереди | |
|  | |
| Рисунок 2.3 – Расположение зоны интерференции деформации почвенного слоя относительно плоскорежущего рабочего органа | |

Подставляя указанные значение, определим 500 мм. С другой стороны складывается из двух слагаемых:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.1) |

где - длина заблокированной части долота в соответствии с рисунком 2.3, м.

Значение в соответствии с рисунком 2.3 будет равно длине лемеха плоскорежущего рабочего органа и в соответствии с таблицей 1.3 для рассматриваемого плоскорежущего рабочего органа будет равна 160 мм.

Следовательно, максимальная длина консольной части долота, исходя из условия отсутствия сгруживания почвы, будет определяться следующим образом:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.2) |

Для плоскорежущего рабочего органа РСП = 340 мм.

В результате воздействия консольной части долота в рассматриваемом сечении почвенного слоя можно выделить три зоны – зона разрушения, зона частичной деформации и зона целостной почвы.

Зона разрушения почвенного слоя будет характеризоваться следующим равенством:

|  |  |
| --- | --- |
| *,.* | (2.3) |

где - напряжение, возникающее в почвенном слое в результате воздействия консольной части долота, Па;

– предел прочности почвенного слоя при преобладающем виде деформации, Па.

Поскольку в рассматриваемом случае преобладающим видом деформации является сжатие почвы, то

То есть в результате воздействия рабочего органа почвенный слой, являющийся до этого монолитом, будет распадаться на отдельные составляющие.

Для зоны частичной деформации почвенного слоя справедливым будет следующая зависимость:

|  |  |
| --- | --- |
| *.* | (2.4) |

Возникающее напряжение от воздействия долота не превышает предела прочности, поэтому разделение монолита на отдельные составляющие происходить не будет. Однако, в зависимости от величины в почвенном слое будут возникать деформации, приводящие к образование микротрещин и понижающих значение Следовательно, при повторном воздействии элементов почвообрабатывающего рабочего органа на данную зону разделение монолита на отдельные составляющие будет происходить при приложении меньшего напряжения.

Зона целостного почвенного слоя будет характеризоваться следующим неравенством:

|  |  |
| --- | --- |
| *.* | (2.5) |

То есть напряжение, возникающее в почвенном слое в результате воздействия консольной части долота, составляет не более 25 % от предела прочности почвенного слоя при преобладающем виде деформации. Размер трещин и их количество не оказывают в данной зоне значительного влияния на снижение энергоемкости процесса при повторном воздействии элементов почвообрабатывающего рабочего органа.

Для определения значения напряжения возникающего в различных точках обрабатываемого почвенного слоя в результате воздействия консольной части долота, используем уравнение предложенное J. Boussinesg [150], которое в соответствии с рисунком 2.4 описывает распределение напряжений в массиве почво-грунта от действия сосредоточенной силы P, приложенной в точке О:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.6) |

где – напряжение в рассматриваемой точке *М*, Па;

- сосредоточенная сила, Н;

- угол между линией действия силы *Р* и произвольной точкой *М*;

- расстояние от места приложения силы до рассматриваемой точки *М*, м.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 2.4 – Схема к определению напряжения в рассматриваемой точке М от действия сосредоточенной силы Р |

Сопоставляя полученное расчетное значение со значением можно сделать вывод о характере воздействия (разрушение или частичная деформация) элемента рабочего органа на рассматриваемую точку почвенного слоя.

Значение сосредоточенной силы , приложенной к почвенному монолиту при взаимодействии с консольной частью долота определим следующим образом. Необходимое и достаточное условие для обеспечения движения в почве консольной части долота можно выразить следующим равенством:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.7) |

где - тяговое усилие, приложенное к консольной части долота, Н;

- равнодействующая общего тягового сопротивления, оказываемого почвой при движении консольной части долота, Н.

в соответствии с [58] представим как сумму, состоящую из 4-х слагаемых:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.8) |

где - сопротивление, возникающее при износе консольной части долота и образовании у не го затылочной фаски, Н;

- сопротивление, возникающее при разрушении (деформации) почвенного монолита на отдельные составляющие, Н;

- сопротивление, обусловленное весом почвенного пласта, находящегося на клине (статическое сопротивление), Н;

- сопротивление, обусловленное инерцией почвенного пласта, находящегося на клине (динамическое сопротивление), Н.

В рассматриваемой математической модели примем допущение о том, что у консольной части долота отсутствует затупление, а следовательно и затылочная фаска. То есть = 0.

Поскольку основным видом деформации почвы при глубокой плоскорезной обработки уплотненных почв является отрыв, то теоретическое определить значение не представляется возможным.

Для определения значения требуется предварительное проведение экспериментальных исследований в полевых условиях на типичных для рассматриваемого региона почвах.

Значения и из всех рассмотренных выше составляющих общего тягового сопротивления могут быть определены теоретически по известным математическим уравнениям [58]:

- статическое сопротивление почвенного слоя, находящегося на клине:

-- горизонтальная составляющая, , Н:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.9) |

где - плотность почвенного слоя, кг/м3;

- ускорение свободного падения, кгм/с2.

- вертикальная составляющая, , Н:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.10) |

- результирующая, , Н:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.11) |

- динамическое сопротивление почвенного слоя, находящегося на клине:

-- горизонтальная составляющая, , Н:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.12) |

где - поступательная скорость движения, м/с.

- вертикальная составляющая, , Н:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.13) |

- результирующая, , Н:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.14) |

Для определения сопротивления, возникающего при разрушении (деформации) почвенного монолита на отдельные составляющие, примем следующие допущения:

- возникающие в почвенном монолите напряжения в результате воздействия консольной части долота увеличиваются пропорционально приложенному усилию;

- скорость движения консольной части долота (духгранного клина) постоянна и равна (м/с) и почвенный слой в процессе взаимодействия с клином не изменяет своей высоты, то есть:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.15) |

где - высота почвенного слоя, находящегося на клине, м.

В соответствии с рисунком 2.5 рассмотрим двухгранный клин с рабочей поверхностью , где , , а рабочая поверхность наклонена к горизонтали на угол крошения .

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| а) | б) |
|  | |
| а) положение 1; б) положение 2 | |
|  | |
| Рисунок 2.5 – Схема деформации двухгранным клином почвенного слоя | |

При перемещении клина из положения 1 в положение 2 к клину должна быть приложена сила необходимая для преодоления сопротивления деформации, оказываемого со стороны почвенным слоя в виде результирующей .

Результирующую сопротивления в этом случае можно представить в виде следующей функции:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.16) |

где - объем почвенного слоя, подвергающейся деформации при перемещении клина из положения 1 в положение 2, м3;

- удельное сопротивление почвы объемной деформации, Н/м3.

С учетом принятых допущений о объем деформируемого почвенного слоя выразим следующим образом:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.17) |

Для математического описания функции разложим результирующую на горизонтальную и вертикальную составляющие.

Горизонтальная составляющая будет характеризовать сопротивление, которое оказывает объем почвы при внедрении в нее клина :

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.18) |

где - горизонтальная составляющая удельного сопротивления почвы объемной деформации, Н/м3.

Вертикальная составляющая - это сопротивление, которое оказывает объем почвы при его вертикальном подъеме. Изменение высоты относительно выбранной точки отсчета (глубина хода долота), выразим через безразмерный коэффициент :

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.19) |

То есть относительно дна борозды, находящемся на глубине хода долота, объем деформируемой почвы поднимется в раз. Тогда формула для определения примет следующий вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.20) |

где - вертикальная составляющая удельного сопротивления почвы объемной деформации, Н/м3.

Тогда в соответствии с правилом сложения векторов результирующая будет определяться по следующей формуле:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.21) |

Очевидно, что в представленной формуле произведение косинуса угла на квадратный корень из суммы квадратов и есть результирующая удельного сопротивления почвы объемной деформации для двугранного клина с углом крошения -:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.22) |

Обоснованность представленного равенства подтверждают результаты исследований различных авторов, представленные, например, в [57, 58, 133, 151], в которых делается вывод о том, что результирующая удельного сопротивления почвы объемной деформации есть функция, зависящая от следующих переменных: угол крошения, высота подъема пласта деформируемой почвы и физико-механические характеристики почвы.

Таким образом, с учетом формулы (2.22) формула для определения примет вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.23) |

Недостатком данной формулы является то, что значение необходимо определять экспериментально для различных типов почв и углов .

Значение было определено в результате тензометрирования двухгранных клиньев с различными геометрическими параметрами в полевых условиях на почвах типичных для рассматриваемого региона и последующей математической обработки полученных экспериментальных данных совместно с лабораторией № 6 КФ ТОО "НПЦ агроинженерии". Методика проведения экспериментальных исследований, необходимых для определения (Н/м3) представлена в п.п. 3.4.2, результаты тензометрирования, являющиеся исходными данными для определения (Н/м3), представлены в приложении А. Значение для различных углов представлено в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Значение для различных углов

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Угол , град. | 10 | 20 | 30 | 40 |
| Удельное сопротивление почвы объемной деформации , Н/м3 | 7,00∙105 | 6,49∙105 | 7,66∙105 | 8,01∙105 |

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что из всех элементов общего тягового сопротивления консольной части долота только затрачивается на выполнение полезной работы - деформацию почвенного слоя, оставшиеся элементы, и можно охарактеризовать как холостое или паразитное сопротивление, лишь косвенно влияющие на качественные показатели работы, и обусловленные весом, трением и инерцией разрушенного почвенного слоя. Поэтому, считаем справедливым и обоснованным представить сосредоточенную силу следующим образом:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.24) |

Тогда формула (2.8) примет следующий вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.25) |

## 2.3 Определение длины консольной части долота для плоскорежущих рабочих органов с различной шириной захвата

Формула (2.25) была использована при разработке графоаналитического метода определения SИ.Д., (м2), подробное описание которого представлено в приложении Б. Полученные значения SИ.Д., (м2) для консольной части долота, длина которой была определена в соответствии с формулой (2.1), представлены на рисунке 2.6.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 2.6 – Влияние длины консольной части долота () на площадь зоны интерференции деформации почвенного слоя SИ.Д., (м2) |

В соответствии с рисунком 2.6 изменение длины консольной части долота от 5 до 30 мм или на 83 % в относительных единицах, приводит к увеличению площади зоны интерференции деформации почвенного слоя SИ.Д., (м2) от 0,02 до 0,10 м2 (рост составляет 80 %), то есть можно говорить о том, что площадь предварительно деформируемой почвы увеличивается пропорционально увеличению консольной части долота.

Оптимальная длина консольной части долота (м) будет варьироваться и зависеть от ширины захвата плоскорежущего рабочего органа. Ранее нами в разделе 1 был предложен коэффициент интерференции, позволяющий на стадии теоретических исследований количественно оценить качество крошения почвенного слоя. Поскольку за базовый рабочий орган, обеспечивающий лучшее качество крошения в рассматриваемых почвенно-климатических условиях, нами был выбран плоскорежущий рабочий орган РСП, примем значение коэффициента интерференции (, %), определенное для данного рабочего органа, за базовое.

Следовательно, увеличение ширины захвата плоскорежущего рабочего не будет приводить к ухудшению качества крошения почвенного слоя в том случае, когда, коэффициент интерференции рабочего органа (, %) удовлетворяет следующему условию:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.26) |

Используя формулу (1.2) определим влияние консольной части долота (м) при различной ширине захвата плоскорежущего рабочего органа (м) на коэффициент интерференции , (%). Результаты расчетов представлены в соответствии с рисунком 2.7.

|  |
| --- |
|  |
| ВР.О.1 = 0,7 м; ВР.О.2 = 0,8 м; ВР.О.3 = 0,9 м; ВР.О.4 = 1,0 м |
|  |
| Рисунок 2.7 – Влияние длины консольной части долота (м) и ширины захвата плоскорежущего рабочего органа (м) на коэффициент интерференции деформации почвенного слоя , (%) |

В соответствии с рисунком 2.7 при увеличении ширины захвата плоскорежущего рабочего органа для обеспечения требуемого уровня крошения, выраженного через коэффициент интерференции , (%), требуется увеличение длины консольной части долота. Так, в зависимости от ширины захвата плоскорежущего рабочего органа условие обеспечивается при следующих значениях:

- при ВР.О = 0,7 м ≥ 8,0 мм;

- при ВР.О. = 0,8 м ≥ 11,0 мм;

- при ВР.О. = 0,9 м ≥ 14,0 мм;

- при ВР.О. = 1,0 м ≥ 17,0 мм.

Кривые ВР.О.1- ВР.О.4 не имеют зоны оптимума, поэтому сделать однозначный вывод об оптимальной ширине плоскорежущего рабочего органа и длине консольной части долота на данном этапе исследований не представляется возможным. Необходимо учесть влияние рассматриваемых конструктивных параметров на энергетические показатели. Очевидно, что необоснованное увеличение длины консольной части долота приведет не только к увеличению значения коэффициента интерференции , (%), а следовательно и крошения, но и к росту тягового сопротивления плоскорежущего рабочего органа в сравнении с базовым вариантом. Это, в свою очередь, негативно скажется на энергоемкости рассматриваемого технологического процесса.

Учитывая, сказанное выше, необходимо рассмотреть влияние ширины захвата плоскорежущего рабочего органа и длины консольной части долота на энергетические показатели работы, в первую очередь, на тяговое сопротивление.

## 2.4 Математические модели для определения составляющих полного тягового сопротивления плоскорежущего рабочего органа и удельной конструктивной массы орудия

В соответствии с рациональной формулой Горячкина для определния общего тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия представим полное тяговое сопротивление плоскорежущего рабочего органа (, Н) в следующем виде:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.27) |

где – сила, затрачиваемая на преодоление трения, возникающего при движении закрепленного на раме почвообрабатывающего орудия плоскорежущего рабочего органа в почвенном слое, Н;

- сила, затрачиваемая на преодоление сопротивления, возникающего при воздействии рабочего органа на обрабатываемый почвенный слой, Н;

- сила, затрачиваемая на преодоление инерции почвенного слоя и придании ему определенной скорости движения, Н.

Из трех слагаемых полного тягового сопротивления только и затрачивается на полезную работу – крошение и рыхление почвенного слоя, поэтому выразим ее через рабочее сопротивление плоскорежущего рабочего органа (, Н). Тогда формула примет вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.28) |

Поскольку плоскорежущий рабочий орган является частным случаем применения трехгранного клина его рабочее тяговое сопротивление может быть представлено как сумма равнодействующих общего тягового сопротивления трехгранного клина, включающую в себя лемеха и блокированную часть долота в соответствии с рисунком, и двугранного клина, включающую консольную часть долота:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.29) |

где - результирующая общего тягового сопротивления трехгранного клина (лемеха + блокированная часть долота), Н;

- результирующая общего тягового сопротивления двугранного клина (консольная часть долота), Н.

Математическая формула для определения сопротивления = была предложена в предыдущем подпункте. Рассмотрим более подробно сопротивление трехгранного клина (Н). При рассмотрении лемеха и блокированную часть долота будем рассматривать как одно целое.

В земледельческой механике работа трехгранного клина рассматривается как чередующееся элементарное перемещение двугранных клиньев перпендикулярно рабочей поверхности и вдоль нее [58, 67]. Следовательно, силы, действующие на трехгранный клин со стороны почвы, будут тождественны силам, действующим на двугранный клин:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.30) |

где - сопротивление, возникающее при износе трехгранного клина и образовании у не го затылочной фаски, Н;

- сопротивление, возникающее при разрушении (деформации) почвенного монолита на отдельные составляющие трехгранным клином, Н;

- сопротивление, обусловленное весом почвенного пласта, находящегося на трехгранном клине (статическое сопротивление), Н;

- сопротивление, обусловленное инерцией почвенного пласта, находящегося на трехгранном клине (динамическое сопротивление), Н.

По аналогии с консольной частью долота примем допущение о том, что у трехгранного клина отсутствует затупление, а следовательно и затылочная фаска. То есть = 0.

Для нахождения и используем формулы, предложенные Синеоковым [58]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.31) |

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.32) |

Формула для определения сопротивления деформации почвы трехгранным клином будет состоять из тех же компонентов, что и формула(2.23) с тем отличием, что деформация почвы трехгранным клином будет происходить с проскальзыванием разрушаемого почвенного слоя относительно режущей кромки лемехов из-за наличия угла раствора плоскорежущего рабочего органа в горизонтальной плоскости γ:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.33) |

Поскольку , формула (2.33) будет справедлива в том случае, когда угол раствора плоскорежущего рабочего органа в горизонтальной плоскости γ и угол трения почвы по стали соответствуют следующему условию:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.34) |

Следовательно, формула для нахождения рабочего тягового сопротивления плоскорежущего рабочего органа примет вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.35) |

Формула позволяет определить рабочее тяговое сопротивление, возникающее в почвенном монолите при движении плосокрежущего рабочего органа. Однако, в данной формуле не учитывается первоначальное воздействие на почвенный монолит консольной части долота. В соответствии с рисунком 2.8, в результате воздействия консольной части долота в почвенном слое можно выделить три зоны – зона разрушения, зона повышенной деформации и зона частичной деформации почвенного слоя и зона целостной почвы:

- зона разрушения почвенного слоя (распределения предельных напряжений), для которой выполняется условие (зона 1);

- зона повышенной деформации почвенного слоя, для которой выполняется условие (зона 2);

- зона частичной деформации почвенного слоя, для которой выполняется условие (зона 3);

- зона целостной почвы, для которой выполняется условие (зона 4).

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 2.8 – Взаимодействие консольной части долота плоскорежущего рабочего органа с почвенным слоем. Вид спереди |

Следовательно, при контакте рабочей кромки лемехов с сечением разрушенного или частично деформированного почвенного слоя, реальное сопротивление деформации будет ниже, чем рассчитанное по формуле (2.33). Для определения реального сопротивления деформации почвы трехгранным клином сделаем следующее:

- во-первых, выразим произведение и в соответствии с формулой (1.3) через, тогда формула для нахождения примет следующий вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.36) |

- во-вторых, площадь почвы, обрабатываемая плоскорежущим рабочим органом SО. (м2) на глубине , в соответствии с написанным выше, будет состоять из следующих слагаемых:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.37) |

где - площадь зоны разрушения почвенного слоя, м2;

- площадь зоны повышенной деформации почвенного слоя, для которой выполняется условие , м2;

- площадь зоны частичной деформации почвенного слоя, для которой выполняется условие , м2;

- площадь зона целостной почвы, для которой выполняется условие

Удельное сопротивление почвы объемной деформации показывает какое усилие со стороны двугранного клина (консольной части долота) с углом крошения α нужно приложить к объему почвенного слоя, чтобы выполнялось условие , то есть происходило его разделение на отдельные составляющие, что характерно для зоны разрушения в соответствии с рисунком 2.8. В том случае, если рассматриваемое сечение почвенного слоя находится за пределами зоны разрушения, при воздействии консольной части долота будет происходить его частичная деформация (зона 2 и зона 3 рисунок 2.8). Поскольку нами сделано допущение о том, что возникающее в почве напряжение пропорционально приложенному усилию, значение при взаимодействии трехгранного клина с частично деформированным сечением почвенного слоя будет пропорционально уменьшаться в зависимости от первоначального воздействия консольной части долота, тогда в соответствии с рисунком 2.8:

- для зоны 1 значение0;

- для зоны 2 значение0,50∙;

- для зоны 3 значение0,75∙;

- для зоны 4 значение.

Таким образом, формула (2.36) с учетом формулы (2.37) и написанного выше примет вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.38) |

Значения , , зависят от конструктивных параметров консольной части долота (длина и ширина). Они были определены с помощью графоаналитического метода, представленного в приложении Б. Значение определяется как разница между площадью SО и суммой площадей , и :

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.39) |

То есть значение площади целостной почвы будет зависеть не только от конструктивных параметров консольной части долота, но и плоскорежущего рабочего органа.

Полученные значения , идля консольной части долота различной длины представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Площадь зоны разрушения, повышенной и частичной деформации почвенного слоя в зависимости от длины консольной части долота

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| , м | Зоны разрушения, повышенной и частичной деформации и целостного почвенного слоя, м2 | | | |
|  |  |  |  |
| 0,047 | 0,005 | 0,0045 | 0,01 | 0,0195 |
| 0,071 | 0,0056 | 0,0082 | 0,0135 | 0,0273 |
| 0,095 | 0,0076 | 0,0094 | 0,0181 | 0,0351 |
| 0,118 | 0,008 | 0,0113 | 0,0218 | 0,0411 |
| 0,142 | 0,0087 | 0,0148 | 0,0271 | 0,0506 |

В этом случае формула для нахождения рабочего тягового сопротивления плоскорежущего рабочего органа примет вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.40) |

Для удобства проведения дальнейших исследований и сравнительной оценки тягового сопротивления плоскорежущих рабочих органов различной ширины захвата будем представлять рабочее сопротивление плоскорежущих рабочих органов в удельных единицах (, Н/м):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.41) |

Для нахождения (Н) используем следующую зависимость:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.42) |

где - вес закрепленного на раме почвообрабатывающего орудия плоскорежущего рабочего органа, Н.

В свою очередь, вес (Н) можно выразить через следующую зависимость:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.43) |

где - фактическая удельная конструкционная масса почвообрабатывающего орудия, кг/м.

С учетом формулы формула примет вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.44) |

Выразим значение в удельных единицах (, Н/м):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.45) |

Как видно из формулы (2.45) между и имеется прямая зависимость. и для уменьшение силы, затрачиваемой на преодоления трения, а следовательно и уменьшения полного тягового сопротивления (, Н) целесообразно минимизировать значение удельной конструкционной массы. Но так как (кг/м) влияет не только на энергетические показатели работы, но и агротехнические (заглубляющая способность) [58] уменьшение удельной конструкционной массы возможно только до минимально допустимого значения (, кг/м).

Нами предложены следующие уравнения для определения (кг/м) и (кг/м):

- для минимальной удельной конструктивной массы орудия - (кг/м), необходимой для его заглубления в рассматриваемый почвенный монолит:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.46) |

где - предел прочности почвы сжатию, Па;

- ширина режущей кромки, м;

αЗ - угол заглубления рабочих органов, град.;

- для фактической удельной конструкционной массы почвообрабатывающего орудия - (кг/м):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.47) |

где - масса одного рабочего органа, кг.;

где - расстояние междустойкам рабочих органов, м;

- удельная конструктивная масса 1 метра продольного бруса, кг/м;

- удельная конструктивная масса 1 метра поперечного бруса, кг/м;

– количество поперечных брусьев (23), шт.

Обоснование предложенных нами математических зависимостей для определения (кг/м) и (кг/м) представлено в [152].

Для обеспечения заглубления орудия на требуемую глубину в заданных условиях эксплуатации должно выполняться следующее условие:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.48) |

С учетом формулы (2.47) уравнение для нахождения примет вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.49) |

## 2.5 Определение значений составляющих полное тяговое сопротивление плоскорежущего рабочего органа и значений удельной конструктивной массы орудия

На основании проведенных теоретических исследований была построена зависимость в соответствии с рисунком 2.9.

В соответствии с графиком увеличение ширины захвата плоскорежущего рабочего органа (м) на исследуемом скоростном интервале (v = 2,0-2,8 м/с) приводит к росту полного удельного тягового сопротивления плоскорежущего рабочего органа (Н/м). Так, при увеличении (м) в сравнении с базовым вариантом – плоскорежущим рабочим органом РСП с = 0,6 м, при v = 2,0- 2,8 м/с, наблюдается следующий прирост:

- при = 0,7 м прирост полного удельного тягового сопротивления составил 1,9-2,0 %;

- при = 0,8 м прирост полного удельного тягового сопротивления составил 3,4-3,9 %;

- при = 0,9 м прирост полного удельного тягового сопротивления составил 5,9-6,6%;

- при = 1,0 м прирост полного удельного тягового сопротивления составил 7,8-8,4%.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 2.9 – Влияние ширины захвата () и скорости движения (v)  плоскорежущего рабочего органа на его полное удельное тяговое  сопротивление () |

Если принять, что изменение значения показателя в пределах ± 5 % является несущественным, то на основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что на рассматриваемом агротехнически допустимом скоростном интервале увеличение ширины захвата плоскорежущего рабочего органа до = 0,7-0,8 м не увеличивает полное удельное тяговое сопротивление плоскорежущего рабочего органа в сравнении с базовым вариантом - плоскорежущим рабочим органом РСП с = 0,6 м. Дальнейшее увеличение ширины захвата плоскорежущего рабочего органа оказывает значительное влияние на прирост (Н/м). Интенсивный прирост (Н/м) при = 0,9-1,0 м объясняется влиянием нескольких факторов:

1. Во-первых, в соответствии с п.п. 2.2 и 2.3 для обеспечения требуемого уровня крошения, выраженного через коэффициент интерференции , (%), при увеличении ширины захвата плоскорежущего рабочего органа требуется увеличение длины консольной части долота. Что в свою очередь приводит к росту составляющей (Н) сопротивления (Н) в соответствии с формулой (2.29). Так в соответствии с рисунком 2.10 представлена диаграмма, отображающая прирост (Н). Изменение (Н) при увеличении длины консольной части долота относительно базовой обозначим - (Н)

|  |
| --- |
|  |
|  |
| Рисунок 2.10 – Влияние длины консольной части долота () на его тяговое сопротивление () при v = 2,8 м/с в сравнении с базовым  вариантом ( = 0,6 м) |

Анализ данного графика показывает, что увеличение длины консольной части долота (м) в сравнении с базовым вариантом ( = 0,05 м при = 0,6 м) приводит к росту сопротивления (Н) следующим образом:

- при = 0,08 м прирост составил 461 Н;

- при = 0,11 м прирост составил 922 Н;

- при = 0,14 м прирост составил 1408 Н;

- при = 0,17 м прирост составил 1918 Н.

Частично увеличение сопротивления (Н) компенсируется уменьшением сопротивления (Н), в соответствии с рисунком 2.11, которое происходит из-за увеличения площади зоны предварительного разрушения и деформации почвенного слоя (таблица 2.3).

Так, в соответствии с рисунком 2.11, б увеличение ширины захвата плоскорежущего рабочего органа (м) в сравнении с базовым вариантом ( = 0,6 м) приводит к следующему изменению (Н/м):

- при =0,7 м уменьшилось на 75 Н/м ( = 9611 Н/м);

- при =0,8 м уменьшилось на 149 Н/м ( = 9538 Н/м);

- при =0,9 м уменьшилось на 155 Н/м ( = 9532 Н/м);

- при =1,0 м уменьшилось на 206 Н/м ( = 9481 Н/м).

|  |
| --- |
|  |
|  |
| Рисунок 2.11 – Влияние ширины захвата плоскорежущего рабочего органа () на его удельное тяговое сопротивление () при v = 2,8 м/с в сравнении с базовым вариантом ( = 0,6 м) |

2. Во-вторых, при увеличении ширины захвата плоскорежущего рабочего органа (м) из-за уменьшения количества несущих рамных элементов, приходящихся на один рабочий орган, происходит уменьшение удельной конструкционной массы (формула (2.47)). Однако, данная закономерность наблюдается до определенного значения = 0,7-0,8 м. Дальнейшее увеличение ширины захвата плоскорежущего рабочего органа (= 0,9-1,0 м) в соответствии с рисунком 2.12 не позволяет уменьшить фактическое значение удельной конструкционной массы (кг/м), поскольку не выполняется условие ).

|  |
| --- |
|  |
|  |
| Рисунок 2.12 – Влияние ширины захвата плоскорежущего рабочего органа () на удельную конструкционную массу () |

В свою очередь уменьшение (кг/м) приводит к уменьшению составляющей (Н/м) сопротивления (Н/м).

В соответствии с рисунком 2.13, характер изменения функции будет соответствоать изменению функции. Так, в соответствии с рисунком 2.13, б увеличение ширины захвата плоскорежущего рабочего органа (м) в сравнении с базовым вариантом ( = 0,6 м) приводит следующему изменению (Н/м):

- при =0,7 м уменьшилось на 160 Н/м ( = 1105 Н/м);

- при =0,8 м уменьшилось на 279 Н/м ( = 986 Н/м);

- при =0,9 м уменьшилось на 283 Н/м ( = 982 Н/м);

- при =1,0 м уменьшилось на 283 Н/м ( = 982 Н/м).

|  |
| --- |
|  |
| а) |
|  |
| б) |
|  |
| а) зависимость ; б) изменение тягового сопротивления (, Н/м) в сравнении с базовым вариантом |
|  |
| Рисунок 2.13 – Влияние ширины захвата плоскорежущего рабочего органа () на сопротивление, возникающее при трении рабочег ооргана в почвенном слое при v = 2,8 м/с |

Анализ представленной в п.п. 1 и п.п. 2 информации показал следующее:

- при ширине захвата =0,7 м соотношение ( +)/ ≈ 1/2,0 то есть уменьшение и позволяет на 50% компенсировать прирост ;

- при ширине захвата =0,8 м соотношение ( +)/ ≈ 1/2,2 то есть уменьшение и позволяет на 45% компенсировать прирост ;

- при ширине захвата =0,9 м соотношение ( +)/ ≈ 1/3,2 то есть уменьшение и позволяет на 31% компенсировать прирост ;

- при ширине захвата =1,0 м соотношение ( +)/ ≈ 1/3,9 то есть уменьшение и позволяет на 26% компенсировать прирост .

Чем и объясняется интенсивный прирост полного тягового сопротивления при =0,9-1,0 м.

На основании проведенных теоретических исследований нами установлено, что минимальный прирост тягового сопротивления (не более 4 %) в сравнении с базовым вариантом обеспечивает плоскорежущий рабочий орган с шириной захвата 0,7-0,8 м при длине консольной части долота соответственно 0,08 и 0,11 м. При указанных параметрах значение коэффициента интерференции, позволяющее на стадии теоретических исследований количественно оценить качество крошения почвенного слоя, соответствует эталонному значению (РСП).Адекватность полученных математических моделей и значений конструктивных параметров плоскорежущего рабочего органа была оценена при проведении экспериментальных исследований в полевых условиях.

Таким образом, нами предложена оригинальная математическая модель для определения рабочего и полного тягового сопротивления плоскорежущего рабочего органа. Рабочее тяговое сопротивление складывается из тягового сопротивления трехгранного клина, частным случаем которого является плоскорежущий рабочий орган, и тягового сопротивления двугранного клина, частным случаем которого является консольная часть долота. Полное тяговое сопротивление также учитывает сопротивление, возникающее при преодолении трении закрепленного на раме почвообрабатывающего орудия плоскорежущего рабочего органа в почвенном слое. Предложенная математическая модель не противоречит положениям существующей теории, применяемой в современной земледельческой, но обладает научной новизной. Новизной данной математической модели является следующее:

- во-первых, предложена зависимость для определения сопротивления деформации почвы двугранным и трехгранным клином (формула (2.23) и формула (2.38));

- во-вторых, при нахождении тягового сопротивления трехгранного клина учитывается первоначальное воздействие на почвенный монолит консольной части долота (двугранный клин);

- в-третьих, предложена зависимость для нахождения фактической и минимально допустимой удельной конструкционной массы почвообрабатывающего орудия, необходимой при определении сопротивления (Н).

## 2.6 Обоснование ширины захвата почвообрабатывающего орудия

Известно, что основная производительность Woсн (га/ч), почвообрабатывающего орудия определяется по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.50) |

где - ширина захвата орудия, м.

Как видно из выражения (2.50) производительность находится в прямой зависимости от ширины захвата и скорости движения.

Скорость движения агрегата для глубокой безотвальной обработки почвы находится в строго ограниченном агротехническими требованиями пределе, который составляет 2,0-2,8 м/с [55]. При скорости движения более 2,8 м/с происходит чрезмерное крошение и измельчение почвы до эрозионно-опасных фракций менее 1 мм, а также засыпание почвой значительной части стерни и других пожнивных остатков, находящихся на поверхности почвы.

В связи с этим наиболее реальным способом повышения производительности агрегата является увеличение его ширины захвата.

Наиболее благоприятным вариантом при определении ширины захвата почвообрабатывающего орудия является тот, при котором имеется тяговая характеристика рассматриваемого трактора, определенная опытным путем для конкретного агрофона [[153](https://tractortestlab.unl.edu/testreports)]. В этом случае имеется возможность сопоставить тяговое сопротивление почвообрабатывающего орудия с различной шириной захвата с тяговыми и энергетическими возможностями трактора, определить возможную скорость агрегатирования и расход топлива. Однако очень часто в технических характеристиках тракторов, представленных в широком доступе, отсутствует подобная информация. Производители ограничиваются указанием минимального количества технической информации (например, эффективная мощность двигателя, часовой расход топлива, масса трактора). В этом случае для обоснования оптимальной ширины захвата используются методики, аналогичные представленной в [154]. Значения тягового усилия трактора, рассчитанные по данной методике, учитывают только мощность двигателя и не принимают во внимание его эксплуатационную массу, которая также влияет на его тяговые возможности. Кроме того не все методики расчета учитывают расход топлива (кг/га) на различных режимах работы, что, в свою очередь.оказывает непосредственное влияние на экономическую эффективность.

В работах [155-157] авторы сделали попытку определить оптимальную массу трактора для конкретных почвообрабатывающих орудий с использованием разработанных математических моделей, в которых рассматривается влияние массы трактора на суммарные энергетические затраты. Однако в рассматриваемых математических моделях не представлена взаимосвязь между массой трактора и создаваемым им тяговым усилием.

Следовательно, разработка математической модели для определения ширины захвата почвообрабатывающего орудия, которая будет учитывать влияние массы энергетического средства на создаваемое им тяговое усилие, является актуальной.

В п.п. 2.2 и 2.4 при составлении математических моделей за основу нами были взяты рациональные уравнения тягового сопротивления двух и трехгранных клиньев, предложенные Синеоковым, которые позволили учесть влияние всех известных факторов (геометрические параметры клина, физико-механические характеристики почвы, режим работы) на тяговое сопротивление.

При обосновании ширины захвата почвообрабатывающего орудия мы подразумеваем, что параметры рабочего органа имеют оптимальные параметры, являющиеся постоянными. В этом случае сопротивление, возникающее при деформации почвенного слоя и сопротивление, обусловленное весом почвенного пласта, находящимся на клине, может быть выражено через обобщенный показатель:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.51) |

где - сопротивление, затрачиваемое на разрушение и перемещение почвенного пласта (полезное сопротивление), Н/м.

По аналогии с общим тяговым сопротивлением плоскорежущего рабочего органа, общее тяговое сопротивление почвообрабатывающего орудия может быть представлено следующим образом:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.52) |

где - общее тяговое сопротивление почвообрабатывающего орудия, Н;

- сопротивление перемещению рабочих органов почвообрабатывающей машины (холостое сопротивление), Н;

- сопротивление, учитывающее скоростной режим работы почвообрабатывающего орудия, Н.

Уравнение (2.52) не противоречит рациональной формуле Горячкина для нахождения общего тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.53) |

где - удельное сопротивление почвы, Н/м2;

- вес орудия, Н;

В уравнении (2.53) для учета сопротивления почвы используется коэффициент (Н/м2). Данный показатель характеризует силу, которую необходимо приложить к почвенному слою площадью 1 м2 в рассматриваемом сечении для его деформации и транспортировки по контактируемой с почвенным слоем поверхностью рабочих органов.

Значение (Н/м2) можно найти двумя способами: аналитическим и экспериментальным.

В первом случае необходимо приравнять уравнение (2.53) и уравнение (2.28) и выразить (Н/м2) через (Н/м3):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.54) |

Во втором случае нахождение (Н/м2) будет выполняться с помощью тензометрирования конкретных почвообрабатывающих рабочих органов в типичных почвенных условиях. Методика проведения эксперимента представлена в п.п. 3.4.2.

На наш взгляд, в том случае, когда есть возможность предпочтительнее использовать экспериментальный способ нахождения (Н/м2), поскольку большое количество аргументов и математических операторов, входящее в уравнение (2.54) увеличивает предельную относительную ошибку полученного значения [158].

Результаты экспериментального нахождения (Н/м2) для плоскорежущего рабочего органа представлены в [159].

Вес почвообрабатывающего орудия (Н) представим так:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.55) |

С учетом уравнения (2.55) уравнение (2.53) примет вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.56) |

Решим уравнение (2.56) относительно (м):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.57) |

Движение почвообрабатывающего агрегата будет возможно при выполнении следующего условия:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.58) |

где - тяговое усилие энергетического средства (сила тяги на крюке трактора), Н;

- коэффициент запаса тягового усилия трактора.

В свою очередь определяется по следующему выражению:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.59) |

где - мощность, необходимая для обеспечения тягового усилия энергетического средства (крюковая мощность трактора), Вт.

При тяговом расчете трактора значение определяется из уравнения мощностного баланса, что требует наличия большого количества дополнительных данных. Однако, в большинстве случаев в технических характеристиках, предоставляемых производителями тракторов, указано значение только эффективной мощности, (кВт) в связи с этим для упрощения расчетов воспользуемся следующей формулой [160]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.60) |

где - тяговый КПД трактора.

Учитывая формулы (2.58-2.60), формула (2.57) примет следующий вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.61) |

Расчеты по формуле (2.61) позволяют определить предел варьирования ширины захвата почвообрабатывающего орудия для трактора с известной эффективной мощностью двигателя, однако для определения оптимального значения ширины захвата почвообрабатывающего орудия необходимо провести дополнительные расчеты. Критериями оптимизации при определении ширины захвата почвообрабатывающего орудия является производительность и удельный расход топлива на гектар. Должна быть обеспечена максимальная производительность при минимальном удельном расходе топлива.

Тяговые возможности трактора зависят не только от мощностной характеристики его силовой установки, но и от его эксплуатационной массы [18]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.62) |

где - сила тяги на ведущих колесах трактора (касательная сила тяги), Н;

- коэффициент нагрузки ведущих колес (для тракторов с колесной формулой 4К4 );

- коэффициент сцепления, допускаемый по условиям сцепления и агротехническим требованиям;

- эксплуатационная масса трактора, кг.

Кроме того касательная сила тяги трактора при условии равномерного движения по горизонтальной поверхности может быть определена по следующей формуле:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.63) |

где - коэффициент возможной перегрузки;

- сила сопротивления качению трактора, Н

- коэффициент, трения качения трактора.

Тогда, приравняв формулы (2.62) и (2.62) с учетом формул (2.59) и (2.60), получим выражение для определения требуемой эксплуатационной массы трактора:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.64) |

Удельный расход топлива на гектар определяется в следующей последовательности. Во-первых, определим часовой расход топлива, , кг/ч:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.65) |

где – удельный расход топлива, г/кВт·ч.

Зная часовой расход топлива и производительность определим удельный расход топлива на гектар, , кг/га:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.66) |

Коэффициент возможной перегрузки принимается из условия агрегатирования трактора в наиболее сложных условиях, в соответствии с [161]. Коэффициент нагрузки ведущих колес принимается из условия перераспределения нагрузки между передними и задними колесами при работе трактора [161]. Величина коэффициента сцепления колес трактора с почвой принимается исходя из максимально допустимого буксования трактора:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.67) |

где - буксование трактора.

Буксование ухудшает как энергетические показатели трактора, так и оказывает негативное воздействие на почвенный слой – образуется колея, происходит уплотнение почвы, ухудшается рост и развитие растений. Для тракторов с колесной формулой 4К4 максимальное буксование составляет 16% [161].

При проведении расчетов эффективная мощность двигателя и удельный расход топлива приняты из условия, что двигатель трактора на всех режимах работает при номинальных оборотах.

Результаты расчетов по формуле (2.61) представлены на рисунке 2.14.

Анализ полученной зависимости позволяет сделать вывод, что при постоянной мощности трактора увеличение скорости движения и глубины обработки почвы приводит к уменьшению рабочей ширины за счет увеличения тягового сопротивления.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 2.14 – Влияние глубины обработки (h, м) и скорости движения  (*v*, м/с) на ширину захвата почвообрабатывающего орудия (, м) при  (Ne = 257 кВт) |

Как правило, в северном регионе Казахстана глубокая плоскоерзная обработка проводится на глубину не более 27 см. Поэтому в соответствии с рисунком 2.15 более подробно рассмотрим этот режим работы как наиболее неблагоприятный.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 2.15 – Влияние скорости движения (*v*, м/с) на ширину захвата почвообрабатывающего орудия (, м) при (h = 0,27, м, Ne = 257 кВт) |

Анализ полученной зависимости показывает, что для мощности двигателя Ne = 257 кВт предел варьирования ширины захвата на рассматриваемых скоростях составит 2,7-5,6 м.

Для определения оптимальной ширины захвата почвообрабатывающего орудия рассмотрим номограмму, представленную на рисунке 2.16.

Точки пересечения кривых РТЯГ и характеризуют скоростной режим, при котором обеспечивается максимальное использование тяговых возможностей энергетического средства при агрегатировании с рассматриваемым почвообрабатывающим орудием (соответственно для каждого значения ). Пересечение вертикальной прямой, проведенной из данных точек с кривой MЭ (расчетн.), характеризует необходимую массу трактора для того, чтобы обеспечить полученное тяговое усилие.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 2.16 – Влияние скорости движения (*v*, м/с) на тяговое усилие энергетического средства (РТЯГ, кН) и необходимую эксплуатационную массу ЭС (MЭ (расчетн.), кг), ширину ширины захвата почвообрабатывающего орудия (, м) и его тяговое сопротивление (, кН) |

На скоростном интервале 2,0-2,8 м/с имеется три точки пересечения кривых РТЯГ и . Соответствующие данным точкам значения , *v*, РТЯГ, и MЭ, а также значения и, рассчитанные в соответствии с формулами (2.50) и (2.66), представлены в таблице 2.4.

Анализ полученных результатов говорит о том, что в рассматриваемых условиях максимальная производительность при минимальном удельном расходе топлива обеспечивается при = 4,9-5,6 м при *v* = 2,0-2,3 м/с. При движении с такой скоростью создаваемая сила тяги на крюке трактора достаточна для преодоления тягового сопротивления, создаваемого орудием (РТЯГ = 75,96 кН, = 75,41 кН и РТЯГ = 85,45 кН, = 84,10 кН соответственно при = 2,2 м/с и = 2,0 м/с), а расчетное значение эксплуатационной массы, необходимое для создания указанной силы тяги не превышает фактического.

Таблица 2.4 – Результаты теоретических исследований по обоснованию ширины захвата почвообрабатывающего орудия

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| , м | *v*, м/с | , кН | , кН | | , кг·103 | , га/ч | , кг/га |
| 4,2 | ≈2,5 | 65,27 | | 68,36 | 13,24 | 3,78 | 14,48 |
| 4,9 | ≈2,2 | 73,90 | | 77,68 | 14,83 | 3,88 | 14,10 |
| 5,6 | ≈2,0 | 82,93 | | 85,45 | 16,69 | 4,03 | 13,57 |

Таким образом, на основании проведенных теоретических исследований по обоснованию ширины захвата почвообрабатывающего орудия к трактору тягового класса 6 с максимальной эксплуатационной массой = 17000 кг и эффективной мощностью двигателя Ne = 257 кВт, установлено, что оптимальная ширина захвата должна составлять = 4,9-5,6 м при скорости движения = 2,3-2,0 м/с. По результатам проведенных теоретических исследований была опубликована научная статья в журнале, входящем в базу данных Scopus [162]. Достоверность полученных результатов была проверена при проведении экспериментальных исследований орудия для основной обработки уплотненных почв.

## 2.7 Выводы по разделу

1. Для проведения запланированных экспериментально-теоретических исследований была выбрана модель почвенного слоя, в соответствии с которой последний рассматривается как сплошная среда. Это позволило использовать для решения поставленных вопросов основных уравнения механики твердого тела, векторного анализа, теорий напряжений и деформаций.

2. Были разработаны математическая модель и графоаналитический метод для определения напряжений, возникающих в различных точках рассматриваемого почвенного слоя под воздействием консольной части долота и математическая модель для нахождения его тягового сопротивления.

Найдена количественная зависимость между длиной консольной части долота и площадью зоны интерференции деформации почвенного слоя.

Найдена количественная зависимость между длиной консольной части долота и шириной захвата плоскорежущего рабочего органа, при которой коэффициент интерференции соответствует эталонному значению.

3. Была разработана математическая модель для определения составляющих полного тягового сопротивления плоскорежущего рабочего органа и удельной конструктивной массы орудия.

Найдена количественная зависимость между шириной захвата плоскорежущего рабочего органа, длиной консольной части долота и создаваемым тяговым сопротивлением.

4. Была разработана математическая модель для нахождения тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия и ширины его захвата.

К трактору тягового 6 определена оптимальная ширина захвата почвообрабатывающего орудия, обеспечивающая максимальную производительность агрегата и минимальный удельный расход топлива на гектар.

5. Достоверность предложенной гипотезы, полученных результатов и адекватность разработанных математических моделей была оценена при проведении экспериментальных исследований лабораторно-полевой установки с вариантами рабочих органов и орудия.

# 3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведение экспериментальных исследований, как было указано в разделе 2, объясняется необходимостью проверки достоверности и при необходимости уточнение полученных в ходе выполнения теоретических исследований знаний. Для достижения поставленной перед экспериментальными исследованиями цели требовалось решить следующие задачи:

1. Опытным путем для наиболее типичных почвенных условий рассматриваемого региона определить значение физических величин, входящих в разработанные математические модели;

2. Выявить закономерность изменения агротехнических, энергетических и эксплуатационно-технологических показателей в зависимости от обоснованных параметров орудия и скорости движения;

3. Сравнить полученные опытные данные с расчетными значениями и сделать вывод об адекватности разработанных математических моделей, а, следовательно, и достоверности значений обоснованных параметров орудия.

## 3.1 Программа экспериментальных исследований

В соответствии с поставленной целью и задачами, а также общей программой проведения исследований, представленной в разделе 2, была разработана программа проведения экспериментальных исследований:

1 Определение коэффициентов, входящих в разработанные математические модели (удельное сопротивление почвы и удельное сопротивление почвы объемной деформации) для почв с типичным физико-механическим составом.

2 Оценка влияния конструктивных параметров плоскорежущих рабочих органов на крошение, сохранность стерни и тяговое сопротивление

3 Оценка влияния удельной конструктивной массы орудия на заглубляемость плоскорежущих рабочих органов и его тяговое сопротивление

4 Оценка влияния ширины захвата почвообрабатывающего орудия на агротехнические показатели работы, тяговое сопротивление, производительность и удельный расход топлива

## 3.2 Технические средства, применяемые при проведении экспериментальных исследований

Пункты 1-3 программы экспериментальных исследований выполнялись на лабораторно-полевой установке со сменными вариантами рабочих органов. Пункт 4 программы - на образце орудия для основной обработки уплотненных почв.

Лабораторно-полевая установка с вариантами двугранных клиньев и плоскорежущими рабочими органами и образец орудия для основной обработки уплотненных почвы были спроектированы в конструкторском бюро и изготовлены на экспериментальном производстве КФ ТОО "НПЦ агроинженерии".

*Лабораторно-полевая установка орудия для основной обработки уплотненных почв.*

Лабораторно-полевая установка (далее ЛПУ) представлена на рисунке 3.1.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| D:\КазНИИМЭСХ\___ГОСУДАРСТВЕННАЯ ТЕМАТИКА___\___ГОС. ТЕМАТИКА. РАЗРАБОТКА ОРУДИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СТЕРНИ. 2015-2017\2015 год\_ОТЧЕТ ЗА 2015 Г\промежуточные материалы\ФОТОГРАФИИ\Новая папка\ЛПУ копия.jpg | C:\Users\User\Desktop\фото для диссертации\IMG_2051.JPG | |
| а) | б) | |
|  | |  |
| а) общий вид; б) вид в работе | | |
|  | |  |
| Рисунок 3.1 – ЛПУ для проведения экспериментальных исследований | | |

Основными конструктивными элементами ЛПУ являлись рама, тягово-прицепное устройство с механизмом регулировки положения ЛПУ в продольно-горизонтальной плоскости, кронштейна для крепления двугранного клина либо плоскорежущего рабочего органа, 4-х опорных металлических колес с механизмом регулировки глубины обработки, 2-х транспортных пневматических колес с гидравлическим механизмом перевода ЛПУ из транспортного положения в рабочее и обратно.

Для увеличения массы ЛПУ применялся комплект металлических брусков. Конструкция ЛПУ позволяла заглублять исследуемые варианты рабочих органов на глубину до 30 см. Способ агрегатирования ЛПУ - прицепной. В качестве энергетического средства для агрегатирования ЛПУ применялся трактор МТЗ-1221 (тяговый класс 2,0).

Наличие четырех опорных колес, расположенных по углам рамы ЛПУ, исключало влияние ее собственного веса на тяговое сопротивление, возникающее при трении элементов рабочего органа о почву.

*Образец орудия для основной обработки уплотненных почв.*

Фотографии образца орудия представлены на рисунке 3.2.

Образец орудия состоит из центральной и двух боковых рам, опорных и опорно-транспортных колес с механизмами бесступенчатого регулирования глубины обработки, механизмов перевода макетного образца орудия из рабочего положения в транспортное. Максимальное количество плоскорежущих рабочих органов, устанавливаемых на раме образца - 9 штук. Максимальная глубина обработки - 30 см.

Способ агрегатирования образца орудия - прицепной. В качестве энергетического средства для агрегатирования образца орудия применялся трактор "Кировец" К-744Р2 (тяговый класс 6).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| C:\Users\User\Desktop\фото для диссертации\макетный образец.jpg | | C:\Users\User\Desktop\фото для диссертации\IMG_3910.JPG |
| а) | | б) |
|  |  | |
| а) общий вид; б) вид в работе | | |
|  |  | |
| Рисунок 3.2 – Образец для проведения экспериментальных исследований | | |

## 3.3 Средства измерений и оборудование, применяемое при проведении экспериментальных исследований

Перечень средств измерений и оборудования, применяемого при проведении экспериментальных исследований, представлен в приложении В.

## 3.4 Методика проведения экспериментальных исследований

Методика определения показателей, характеризующих условие проведение экспериментальных исследований, а также агротехнических, энергетических и эксплуатационно-технологических показателей была основана на положениях действующей нормативной документации, методика математической обработки полученных результатов экспериментов - на положениях математической статистики и теории ошибок. Последовательность действий, необходимых для выполнения пунктов программы экспериментальных исследований в общем виде, представлена на рисунке 3.3.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 3.3 – Общая методика экспериментальных исследований |

### 3.4.1 Определение условий экспериментальных исследований

При выборе участков для проведения экспериментальных исследований мы руководствовались положениями, изложенными в [163]. Участки для проведения экспериментальных исследований выбирались на полях, где в течение нескольких лет не проводились глубокие механические обработки. При этом учитывался тот факт, что почва на рассматриваемом поле должна быть склонной к самоуплотнению - иметь тяжелый механический состав (средний или тяжелый суглинок) и низкое содержание гумуса. Данные требования являются типичными для почвенных условий большинства площадей сельскохозяйственного назначения северного региона Казахстана.

Определяемые показатели условий экспериментальных исследований: дата и место испытаний, тип почвы и ее название по механическому составу, рельеф, влажность и плотность почвы в слое 0-30 см (шаг 10 см), твердость почвы в слое 0-30 см (шаг 10 см), масса растительных и пожнивных остатков на 1 м2, высота (длина) растительных и пожнивных остатков, содержание эрозионно-опасных частиц почвы в слое 0-5 см, предшествующая обработка.

Перечень определяемых показателей был определен в соответствии с требованиями ГОСТ 33736 [164]. Методика определения перечисленных показателей - в соответствии с требованиями ГОСТ 33736 [163] и ГОСТ 20915 [165].

Физико-механические показатели почвы определялась по длине каждого рабочего хода лабораторно-полевой установки или макетного образца через каждые 10 метров.

### 3.4.2 Методика определения коэффициентов, входящих в разработанные математические модели (удельное сопротивление почвы и удельное сопротивление почвы объемной деформации)

*Определение удельного сопротивления почвы объемной деформации.*

Значение необходимое для определения значения сопротивления затрачиваемого на деформацию почвенного слоя (, Н) было определено экспериментально путем тензометрирования вариантов двугранных клиньев с различным углом α в соответствии с рисунком 3.4, установленных на ЛПУ (рисунок 3.1) и дальнейшей математической обработки полученных исходных данных.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| DSC00069 | DSC00075 | DSC00075 | DSC00078 | DSC00078 |
| а) | б) | в) | г) | д) |
|  | | | | |
| а) стойка для фиксации вариантов двугранных клиньев; б) двугранные клинья = 10 град., b = 0,4-0,6 м; в) двугранные клинья = 20 град., b = 0,4-0,6 м; г) двугранные клинья = 30 град., b = 0,4-0,6 м; д) двугранные клинья = 40 град., b = 0,4-0,6 м | | | | |
|  | | | | |
| Рисунок 3.4 – Варианты двугранных клиньев и стойка для их фиксации | | | | |

Значение конструктивных параметров изготовленных клиньев представлено в таблице 3.1. Толщина режущей кромки двугранных клиньев составляла 2,0-2,5 мм. Затылочные фаски на лезвиях отсутствовали.

Таблица 3.1 – Значение конструктивных параметров вариантов двугранных клиньев

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Угол рабочей грани клина ко дну борозды (, град.) | Ширина рабочей грани клина (*b*, м) | Длина рабочей грани клина (*l*, м) |
| 10 | 40-60 (шаг 10) | 350 |
| 20 | 40-60 (шаг 10) | 280 |
| 30 | 40-60 (шаг 10) | 195 |
| 40 | 40-60 (шаг 10) | 155 |

Замер скорости движения агрегата осуществлялся импульсным 8-и кулачковым датчиком оборота колеса. Датчик оборотов колеса устанавливался на одно из опорных колес ЛПУ.

Оборудование, применяемое при тензометрировании ЛПУ с вариантами двугранных клиньев и для замера рабочей скорости движения представлено в приложении В.

Перед проведением тензометрирования вариантов двугранных клиньев определялись характеристики почвы в соответствии с ГОСТ 20915 [165]: тип почвы и ее название по механическому составу, влажность почвы, твердость почвы, плотность почвы. Влажность, твердость и плотность почвы определялись на глубину обработки.

Погрешность тензометрического оборудования, определенная в результате проведения его тарировочных испытаний составила 1,9 %.

Двугранные клинья с различными конструктивными параметрами поочередно фиксировались на стойке, которая, в свою очередь была жестко соединена с рамой ЛПУ. Энергетическое средство, соединенное с ЛПУ через плиту с тензометрическим звеном, осуществляло прямолинейное движение по участку поля. В процессе движения происходило заглубление двугранного клина на установленную глубину и его протягивание в почвенном слое.

В процессе протягивания двугранного клина с помощью тензометрического оборудования, секундомера и путеизмерительного колеса происходило измерение и запись исходных данных - значения результирующей тягового сопротивления ЛПУ (, Н) и скорости движения (*V*, м/с).

Глубина, на которой осуществлялось протягивание двугранного клина составляла 0,3 м. План проведения тензометрирования представлен в таблице 3.2.

Методика определения глубины обработки – в соответствии с ГОСТ 33736[163], методика определения (Н) и *V* (м/с) – в соответствии с ГОСТ Р 52777 [166].

Так как вес ЛПУ и стойки с установленными вариантами двугранных клиньев воспринимается 4 опорными колесами и не оказывает влияния на результирующую общего тягового сопротивления двугранного клина, значение (Н) можно представить как сумму, состоящую из двух слагаемых:

|  |  |
| --- | --- |
| , | (3.1) |

где – сопротивление перекатыванию ЛПУ по полю, Н.

Тогда формула для нахождения примет вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.2) |

где - ускорение свободного падения, м/с2;

- коэффициент трения качения металлического колеса по стерневому полю;

- масса ЛПУ, кг;

- масса стойки, кг;

= масса двугранного клина, кг.

Коэффициент был определено в соответствии с методикой, изложенной в [167].

Значения были определни в соответствии с требованиями ГОСТ 26025 [168].

Таблица 3.2 – План проведения тензометрирования для определения удельного сопротивления почвы объемной деформации

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Изменяемые параметры | | |
| *b*, м | , град. | *V*, м/с |
| 0,04-0,06,  шаг 0,01 | 10- 40,  шаг 10 | 1,5-3,0  шаг 0,5 |
| Оцениваемый параметр | , Н | | |
| Общее количество экспериментов – 48, повторность 4-х кратная | | | |

Для нахождения значения удельного сопротивления почвы объемной деформации перепишем формулы(2.9) и (2.24) относительно :

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.3) |

В качестве измерительного прибора при определении значения использовался динамометр растяжения пружинного типа общего назначения ДПУ-0,5 (предельная нагрузка 500 Н) второго класса точности, имеющий сертификат о поверке, при определении и – динамометр растяжения пружинного типа общего назначения ДПУ-0,1 (предельная нагрузка 100 Н), имеющий сертификат о поверке.

*Определение удельного сопротивления почвы.*

Методика определения удельного сопротивления почвы и применяемое при этом оборудование аналогичны написанному выше для *(, Н/м3)*. Различие заключалось в следующем:

- во-первых, в использовании вместо вариантов двугранных клиньев плоскорежущего рабочего органа с оптимальными параметрами, обоснованными в результате проведения экспериментальных исследований;

- во-вторых, отличался алгоритм математической обработки полученных результатов тензометрирвоания.

Вид плоскорежущих рабочих органов и значение их конструктивных параметров представлено далее в п.п. 3.4.3.

План проведения тензометрирования плоскорежущего рабочего органа с обоснованными параметрами представлен в таблице 3.3.

Как было указано выше, благодаря 4 металлическим опорным колесам, установленным по углам ЛПУ, собственный вес ЛПУ и вес закрепленного на ней варианта рабочего органа не оказывает влияния на результирующую общего тягового сопротивления. Поэтому значение (Н/м2) в соответствии с рациональной формулой Горячкина может быть определено следующим образом:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.4) |

где - результирующая тягового сопротивления ЛПУ с плоскорежущим рабочим органом, Н;

- масса плоскорежущего рабочего органа, кг.

Таблица 3.3 – План проведения тензометрирования для определения удельного сопротивления почвы

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Изменяемые параметры | | | |
| , м | , м | *lД.К.*, м. | *V*, м/с |
| const. | 0,27 (const.) | const. | 1,5-3,0  шаг 0,5 |
| Оцениваемый параметр | , Н | | | |
| Общее количество экспериментов – 48, повторность 4-х кратная | | | | |

Общая методика математической обработки результатов измерений представлена в п.п. 3.4.5.

Методика определения ошибки опыта при экспериментальном определении (Н/м3) и (Н/м2) представлена в п.п. 3.4.6.

### 3.4.3 Методика оценки влияния конструктивных параметров плоскорежущего рабочего органа (ширина захвата и длина консольной части долота) и удельной конструктивной массы орудия на агротехнические и энергетические показатели

Данная часть экспериментальных исследований проводилась в три этапа. На первом этапе уточнялось полученное в ходе теоретических исследований значение (кг/м), при которой будет происходить заглубление плоскорежущего рабочего органа и его устойчивое движение на заданной глубине обработки.

Экспериментальные исследования проводились с двумя вариантами плоскорежущих рабочих органов:

- вариант 1. Плоскорежущие рабочие органы с шириной захвата 0,6-1,0 м и стандартной длиной консольной части долота;

- вариант 2. Плоскорежущие рабочие органы с шириной захвата 0,6-1,0 м и длиной консольной части долота определенной в соответствии с результатами исследований, представленными в разделе 2.

После уточнения значения (кг/м) для получения значений (Н/м) сопоставимых с результатами теоретических исследований значение (кг/м) для исследуемого плоскорежущего рабочего органа при его тензометрировании устанавливалось в соответствии с рисунком 2.12.

На втором этапе экспериментальных исследований проверялась достоверность гипотезы, изложенной в разделе 1, о влиянии длины консольной части долота на степень крошения почвенного слоя. Для этого были проведены сравнительные экспериментальные исследования двух вариантов плоскорежущих рабочих органов, указанных выше. Также оценивалось влияние указанных конструктивных параметров на сохранность стерни.

На третьем этапе экспериментальных исследований параллельно с проверкой основного положения гипотезы, оценивалось влияние длины консольной части долота и ширины захвата плоскорежущего рабочего органа на удельное тяговое сопротивление путем тензометрирования вариантов плоскорежущих рабочих органов.

При проведении экспериментальных исследований в соответствии с рисунком 3.5 использовались варианты плоскорежущих рабочих органов с шириной захвата 0,6-1,0 м, установленные на ЛПУ.

Для изменения значения (кг/м) и (кг/м) использовался набор грузов, укладываемый в специальный ящик, расположенный на раме ЛПУ. Значение основных конструктивных параметров плоскорежущих рабочих органов представлено в таблице 3.4.

Значение остальных конструктивных параметров соответствовало представленным в таблице 1.3 (рабочий орган РСП-4,2).

Взаимное расположение плоскорежущего рабочего органа и ящика с грузами на раме ЛПУ представлено на рисунке 3.6.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| C:\Users\User\Desktop\Новая папка\0,6 м фотошоп копия.jpg | C:\Users\User\Desktop\Новая папка\0,8 м фотошоп.jpg | C:\Users\User\Desktop\Новая папка\0,9 фотошоп копия.jpg | C:\Users\User\Desktop\Новая папка\1,0 м копия.jpg |
|  |  |  |  |
| а) | б) | в) | г) |
| а) 0,6 м; б) 0,8 м; в) 0,9 м; г) 1,0 м | | | |
|  | | |  |
| Рисунок 3.5 – Варианты плоскорежущих рабочих органов с долотом  стандартной длины | | | |

Таблица 3.4 – Значение оцениваемых конструктивных параметров плоскорежущих рабочих органов

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Ширина захвата плоскорежущего рабочего органа , м | Длина консольной части долота , м | |
| стандартная (вариант 1) | исследуемая (вариант 2) |
| 0,6 | 0,05 | 0,05 |
| 0,7 | 0,05 | 0,08 |
| 0,8 | 0,05 | 0,11 |
| 0,9 | 0,05 | 0,14 |
| 1,0 | 0,05 | 0,17 |

|  |
| --- |
|  |
|  |
| 1 – рама ЛПУ; 2 – плоскорежущий рабочий орган; 3 – ящик с грузами;  4 – опорное колесо |
|  |
| Рисунок 3.6 – Взаимное расположение плоскорежущего рабочего органа и ящика с грузами на раме ЛПУ |

План проведения экспериментальных исследований первого, второго и третьего этапов представлен соответственно в таблицах 3.5-3.7.

Таблица 3.5 – План проведения экспериментальных исследований. Этап 1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Изменяемые параметры | | | |  |
| , м | , м | *lД.К.*, м. | , кг/м | *v*, м/с |
| вар. № 1 |
| 0,6 | 0,27 | 0,05 | 300-380  шаг 20 | 1,7-2,9  (шаг 0,3) |
| 0,7 | 0,05 |
| 0,8 | 0,05 |
| 0,9 | 0,05 |
| 1,0 | 0,05 |
| Оцениваемый  параметр | - равномерность глубины обработки, % | | | | |
| Общее количество экспериментов – 100, повторность 4-х кратная | | | | | |

Таблица 3.6 – План проведения экспериментальных исследований. Этап 2

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Изменяемые параметры | | | | |
| , м | , м | *lД.К.*, м. | | *v*, м/с |
| вар. № 1 | вар. № 2 |
| 0,6 | 0,27 | 0,05 | 0,05 | 1,7-2,9  (шаг 0,3) |
| 0,7 | 0,05 | 0,08 |
| 0,8 | 0,05 | 0,11 |
| 0,9 | 0,05 | 0,14 |
| 1,0 | 0,05 | 0,17 |
| Оцениваемый  параметр | - общее крошение почвенного слоя (*К*, %);  - крошение почвенного слоя в центральной (, %) и периферийной (, %) частях плоскорежущего рабочего органа;  - сохранность стерни (С, %) | | | | |
| Общее количество экспериментов – 200, повторность 4-х кратная | | | | | |

Таблица 3.7 – План проведения экспериментальных исследований. Этап 3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Изменяемые параметры | | | |
| , м | , м | *lД.К.*, м. | *v*, м/с |
| вар. № 2 |
| 0,6 | 0,27 | 0,05 | 1,7-2,9  (шаг 0,3) |
| 0,7 | 0,08 |
| 0,8 | 0,11 |
| 0,9 | 0,14 |
| 1,0 | 0,17 |
| Оцениваемый  параметр | - удельное рабочее тяговое сопротивление плоскорежущего р.о. (, Н/м) | | | |
| Общее количество экспериментов – 100, повторность 4-х кратная | | | | |

Путь, пройденный ЛПУ для заглубления на заданную глубину, определялся с помощью рулетки и щупа, глубина обработки, равномерность глубины обработки, общее крошение почвенного слоя и сохранность стерни - в соответствии с ГОСТ 33736 [163], рабочая скорость движения – в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52777 [166].

Для определения крошения в центральной и периферийной частях плоскорежущего рабочего органа использовались специальные устройства, позволяющие по отдельности извлекать почвенные слои, находящиеся соответственно в центральной и периферийных частях. Описание устройства и его общий вид представлены в приложении В.

Значение (Н/м) определялось в следующей последовательности:

- во-первых, проводилось тензометрирование исследуемых вариантов плоскорежущих рабочих органов в соответствии с методикой, изложенной в ГОСТ Р 52777 [166], для получения значения (Н);

-во-вторых, для определения значения (Н/м), полученное экспериментальным путем значение (Н) было разделено на (м):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.5) |

Полученные при проведении первого этапа экспериментальных исследований данные использовались для определения минимального значения (кг/м), при котором равномерность глубины обработки будет соответствовать агротехническим требованиям.

Полученные при проведении второго этапа экспериментальных исследований данные использовались следующим образом:

- во-первых для получения функции вида *К = f (*);

-во-вторых, для получения функции вида *С = f (*).

Полученные при проведении третьего этапа экспериментальных исследований данные использовались для получения функции вида = *f*().

На основании анализа функциональных зависимостей полученных экспериментальным путем и их сравнения с результатами теоретических исследований делались следующие выводы:

- во-первых, давалась оценка достоверности предложенной научной гипотезы;

-во-вторых, оценивалась адекватность разработанных математических моделей и достоверность обоснованных параметров плоскорежущего рабочего органа и удельной конструктивной массы орудия;

- в-третьих, делался выбор оптимальных конструктивных параметров плоскорежущего рабочего органа (ширина захвата и длина консольной части долота), обеспечивающих увеличение скорости агрегатирования при условии качественного выполнения технологического процесса в соответствии с агротехническими требованиями и исключающих рост полного удельного тягового сопротивления в сравнении с базовым вариантом ( = 0,6 м, *lД.К. = 0,05 м*).

### 3.4.4 Методика экспериментальных исследований по уточнению ширины захвата почвообрабатывающего орудия

После уточнения оптимальных параметров плоскорежущего рабочего органа были проведены экспериментальные исследования, необходимые для уточнения ширины захвата почвообрабатывающего орудия. Для этого оценивалось влияние ширины захвата орудия и скорости его движения на агротехнические, энергетические и эксплуатационно-технологические показатели работы. Для данных экспериментальных исследований использовался образец орудия для основной обработки уплотненных почв, описание которого представлено в п.п.3.2. План проведения экспериментальных исследований представлен в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – План проведения экспериментальных исследований.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Изменяемые параметры | | |
| , м | , м | *v*, м/с |
| 4,2 | 0,27 | 1,7-2,9  (шаг 0,3) |
| 4,9 |
| 5,6 |
| 6,3 |
| Оцениваемый  параметр | - общее крошение почвенного слоя (, %;);  - сохранность стерни и пожнивных остатков (, %);  - фактическая глубина обработки (h, см);  - отклонение среднего значения фактической глубины обработки от заданного, (ΔhФ, см);  - общее тяговое сопротивление почвообрабатывающего орудия (, Н);  - удельный расход топлива на гектар (, кг/га);  - - производительность за час основного времени (, га/ч) | | |
| Общее количество экспериментов – 40, повторность 4-х кратная | | | |

Скорость движения определялась в соответствии с методикой, изложенной в ГОСТ Р 52777 [166]. Общее крошение почвенного слоя, сохранность стерни и растительных остатков, глубина обработки и отклонение среднего значения фактической глубины обработки от заданного определялась в соответствии с требованиями ГОСТ 33736 [163].

Значение общего тягового сопротивления определялось путем тензометрирвоания образца орудия в соответствии с методикой, изложенной в ГОСТ Р 52777 [166].

Производительность образца орудия за час основного времени определялась в соответствии с методикой, изложенной ГОСТ 24055 [169].

Удельный расход топлива на гектар определялся в соответствии с формулой (2.67).

Часовой расход топлива, (кг/ч) определялся в соответствии с методикой, изложенной в ГОСТ Р 52777 [166].

На основании анализа функциональных зависимостей полученных экспериментальным путем и их сравнения с результатами теоретических исследований оценивалась адекватность разработанных математических моделей и достоверность обоснованной ширины захвата орудия. А также была установлена максимально допустимая скорость движения, при которой показатели агротехнической оценки соответствовали установленным требованиям.

### 3.4.5 Методика математической обработки результатов измерений

В соответствии с существующей классификацией [170] в зависимости от вида уравнения, связывающего измеряемую и непосредственно наблюдаемой величину, измерения могут быть прямыми и косвенными.

При прямом измерении измеряемая величина (ед.) пропорционально непосредственно наблюдаемой (ед.):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.6) |

где - заданный коэффициент;

При косвенном измерении измеряемая величина , (ед.) является известной функцией от непосредственно наблюдаемых величин (ед.):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.7) |

Применяемая в данной работе математическая обработка прямых измерений была разработана на основании положений математической статистики, представленных в [158, 164, 171 и др.] и состояла из следующих операций:

1. Определение средней арифметической и стандартного отклонения неоднократного прямого измерения.

2. Определение брака неоднократного прямого измерения.

3. Сглаживание экспериментальных данных.

4. Оценка соответствия экспериментальных и теоретических данных (оценка адекватности).

При разработке методики математической обработки экспериментальных данных была принято, что распределение результатов измерения интересующих нас показателей подчиняются закону нормального распределения. При проведении исследований уровень доверительной вероятности был принят 0,95=95%. Принятое значение вероятности является достаточным и наиболее распространенным в сельскохозяйственных исследованиях [163].

*Определение средней арифметической и стандартного отклонения неоднократного прямого измерения*.

Среднее арифметическое и стандартное отклонение являются основными статитическими характеристиками, которые позволяют позволяют воспроизвести экспериментальное распределение и воспроизвести в этом распределении определенную закономерность.

Среднее арифметическое служит обобщенной характеристикой всей совокупности в целом. Простое среднее арифметическое находится по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.8) |

где - среднее арифметическое значение измеряемой величины, ед.

- значение единичного измерения (варианта), ед.;

- общее число измеренных значений (повторность).

Стандартное (среднеквадратическое) отклонение показывает меру разброса единичных измерений относительно среднеарифметического значения:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.9) |

где - стандартное отклонение, ед.

*Определение брака неоднократного прямого измерения.*

Определение брака при проведении прямого измерения основано на положении математической статистики, в соответствии с которым предельная ошибка отдельного наблюдения находится в пределах утроенного значения стандартного отклонения (±3σ). Следовательно, условие возникновения брака прямого измерения будет иметь вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.10) |

где - сомнительный результат измерений, ед.;

Для более точной проверки сомнительных результатов измерений может быть использован критерий Граббса в соответствии с [158] и ГОСТ Р 8.736 [172]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.11) |

где - критерий Стьюдента.

В том случае если частное от деления будет больше , сомнительное значение выбраковывается.

Значение и определяют без учета сомнительного результата измерений .

Значение критериев Стьюдента представлены в [158] и зависит от заданного уровня доверительной вероятности и количества измерений.

Определение брака использовалось нами при анализе величин, значение которых в процессе проведения экспериментальных исследований должны были быть постоянными.

*Сглаживание экспериментальных данных.*

При сглаживании результатов экспериментальных исследований выполнялись следующие условия:

- сглаживанию в первую очередь подвергались результаты непосредственных (прямых) измерений;

- при сглаживании устранялись скачкообразные изменения, которые не объясняли физическую сущность явления и зависели лишь от случайных причин.

Для сглаживания экспериментальных данных использовался наиболее распространенный метод наименьших квадратов [173].

*Оценка соответствия экспериментальных и теоретических данных (оценка адекватности).*

В соответствии с определением представленным в [171] под адекватностью математической модели понимается соответствие результатов вычислений и поведения реального объекта.

В нашем случае для того, чтобы сделать вывод об адекватности разработанной математической модели необходимо выполнение двух условий:

1. Точность.

2. Непротиворечивость.

Выполнение первого условия подразумевает, что величина рассогласования (, ед.) соответствующего параметра модели и оригинала должна быть не больше, чем заданное значение приемлемой погрешности. В качестве приемлемой погрешности принят доверительный интервал математического ожидания рассогласования.

Формула для нахождения величины рассогласования [171]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.12) |

где - значение параметра математической модели в рассматриваемой точке, ед.

Доверительный интервал математического ожидания (*Z*, ед.) определим в соответствии с [163]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.13) |

где - ошибка выборочной средней (ошибка выборки), ед.

Ошибка выборочной средней находится по следующей формуле [163]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.14) |

Значения критерия Стьюдента представлены в [158] и определяется с учетом заданного уровня доверительной вероятности, степень свободы определяется из условия .

В том случае, если считается, что условие точности математической модели в рассматриваемой точке выполнено.

Соответствие условию непротиворечивости подразумевает, что математическая модель и экспериментальная зависимость имеют идентичный характер изменения параметров – возрастание, убывание и т.д. [171].

### 3.4.6 Оценка погрешности измерений

При разработке методики оценки погрешности измерений мы предполагаем следующее:

- использованные при проведении экспериментальных исследований средства измерений и оборудование были технически исправными, их метрологические характеристики и условия эксплуатации соответствовали установленным требованиям;

- персонал, задействованный при проведении экспериментальных исследований, обладал необходимыми компетенциями.

Описание и оценка погрешностей измерений – это сложная техническая задача, решению которой посвящено множество исследований [174-176]. Возникающие в процессе измерения погрешности в общем виде могут быть разделены на грубые, систематические и случайные [158, 173].

*Грубые погрешности.*

Причиной возникновения грубых погрешностей может быть множество факторов (нарушение условий эксплуатации средства измерения, человеческий фактор и т.д.). Действия, предпринятые нами для минимизации риска возникновения грубых погрешностей, указаны выше. Если, несмотря на предпринятые действия, отдельные результаты измерений постоянной величины резко отличались от остального вариационного ряда, для определения возможной грубой погрешности и выбраковки отдельных результатов измерений использовалась методика, представленная в п.п. 3.4.5.

*Систематические погрешности.*

Причина возникновения систематических погрешностей – особенности конструкции и несовершенство средств измерений и оборудования. Систематические погрешности являются наиболее контролируемыми, распознаваемым и постоянными. Значение систематической погрешности стандартного средства измерения определялось по формуле [175]:

- абсолютная систематическая погрешность прямого измерения (, ед.):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.15) |

где - приведенная погрешность средства измерения (указана в паспорте), %;

- предел измерения используемого средства измерения, ед.

- относительная систематическая погрешность прямого измерения (, %):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.16) |

*Случайные погрешности*

Погрешности, возникающие после выявления и устранения (за счет введения поправочных коэффициентов) систематических погрешностей, называются случайными. Причина возникновения случайных ошибок – невозможность устранить влияние неучтенных факторов на результат измерения. Для оценки случайной ошибки прямого измерения воспользуемся одной из основных статистических характеристик количественной изменчивости – ошибкой выборочной средней или ошибкой выборки [163]. Абсолютное значение ошибки выборочной средней (, ед.) определялось по формуле (3.14). Относительное значение ошибки выборочной средней (, %) определялось по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.17) |

Тогда предельная ошибка прямого измерения при условии отсутствия или устранения грубых погрешностей будет определяться как алгебраическая сумма систематической и случайной погрешностей [170]:

- абсолютная предельная погрешность прямого измерения (, ед.):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.18) |

- относительная предельная погрешность прямого измерения (, %):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.19) |

При вычислении предельной ошибки косвенного измерения мы руководствовались следующими положениями [158, 171]:

- предельная относительная ошибка суммы результатов прямых измерений равна сумме предельных относительных ошибок прямых измерений;

- предельная относительная ошибка разности результатов прямых измерений равна разности предельных относительных ошибок прямых измерений;

- предельная относительная ошибка произведения или частного от деления равна сумме предельных относительных ошибок сомножителей или соответственно делимого и частного;

- предельная относительная ошибка *n-*ой степени основания в *n*раз больше относительной ошибки основания;

- предельная относительная ошибка синуса и косинуса равна произведению значению соответственно котангенса или тангенса на предельную абсолютную ошибку угла, выраженную в радианах;

- предельная относительная ошибка тангенса и котангенса равна частному от деления двойной предельной абсолютной ошибке угла (в радианах) на синус двойного угла.

### 3.4.6.1 Оценка систематической погрешности тензометрического оборудования, применяемого при экспериментальных исследованиях ЛПУ и образца орудия

Поскольку оборудование, применяемое нами при проведении исследований являлось многокомпонентным, результирующая систематической погрешности находилась методом геометрического суммирования систематических погрешностей, входящих в нее компонентов [175].

Тогда формула для нахождения систематической погрешности тензометрического оборудования будет иметь следующий вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3.20) |

где – относительная систематическая погрешность приборов, используемых при тарировке, %;

- относительная систематическая погрешность цифровой станции, обрабатывающей входной сигнал датчика, %;

- относительная систематическая погрешность тензометрической плиты, %;

- относительная систематическая погрешность от нелинейности тарировочной зависимости, %.

При проведении тарировочных испытаний тензометрических звеньев использовались механические динамометры растяжения ДПУ:

- ДПУ -20-1 (класс точности 1, =20 кН, = 1%) - для тензометрического звена на 20 кН;

- ДПУ 100-2 (класс точности 2, =100 кН, = 2%) - для тензометрического звена на 100 кН.

(%) определялось в соответствии с формулой (3.16). Для тензометрической станции ZET017-T8 0,1 %, для тензометрической плиты (рисунок 3.4) = 1,1 %, для пространственного механизма фиксации тензометрического звена (рисунок 3.6) = 2,5 %. Значения и приняты на основании информации изготовителей.

(%) определялось на основании результатов тарировочных испытаний тензометрических звеньев, выполняемых тензометрической станцией ZET017-T8 в полуавтоматическом режиме в соответствии с методикой, представленной в [177]. Так, для тензометрического звена на 20 кН = 1,2 %, для тензометрического звена на 100 кН = 1,8 %.

## 3.5 Выводы по разделу

1. Проведение экспериментальных исследований объяснялось необходимостью проверки достоверности и при необходимости уточнение полученных в ходе выполнения теоретических исследований знаний.

2. Для достижения цели поставленной перед экспериментальными исследованиями была разработана программа проведения экспериментальных исследований.

3. В соответствии с программой экспериментальных исследований на основании требований действующих нормативных документов были разработаны следующие методики: методика определения условий экспериментальных исследований, частная методика для определения коэффициентов, входящих в разработанные математические модели (удельное сопротивление почвы и удельное сопротивление почвы объемной деформации), частная методика оценки влияния конструктивных параметров плоскорежущего рабочего органа (ширина захвата и длина консольной части долота) и удельной конструктивной массы орудия на агротехнические и энергетические показатели, методика по уточнению ширины захвата почвообрабатывающего орудия, методика математической обработки результатов измерений, методика оценки погрешности измерений.

4. Для уточнения параметров плоскорежущего рабочего органа и орудия были подготовлены следующие технические средства: прицепная ЛПУ для агрегатирования с трактором тягового класса 1,4-2,0, четыре комплекта двугранных клиньев и стойка для их фиксации на ЛПУ, пять вариантов плоскорежущих рабочих органов с шириной захвата 0,6-1,0 м (шаг 0,1 м) с двумя комплектами долот – со стандартной и переменной длиной консольной части, варианты грузов для изменения удельной конструктивной массы ЛПУ, макетный образец орудия для основной обработки уплотненных почв к трактору тягового класса 6, тракторы тягового класса 2,0 и 6,0.

5. Для проведения необходимых измерений были подготовлены стандартные средства измерений, а также специфическое измерительное оборудование:устройство для отбора почвенных проб из центральной и периферийной части плоскорежущего рабочего органа, оборудование для проведения тензометрирования ЛПУ и макетного образца, оборудование для определения скорости движения и расхода топлива.

# 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВАРИАНТОВ ПЛОСКОРЕЖУЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ И ОРУДИЯ ДЛЯ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ УПЛОТНЕННЫХ ПОЧВ

Запланированные экспериментальные исследования проводились в хозяйствах Костанайской области в 2018 и 2019 годах. Пункты 1-3 программы экспериментальных исследований (п.п. 3.1) были выполнены в 2018 году на лабораторно-полевой установке, пункт 4 – в 2019 году на образце орудия.

## 4.1 Условия проведения экспериментальных исследований

Результаты определения условий экспериментальных исследований в 2018 и 2019 гг. представлены в приложении Г.

Почвенные условия являлись типичными для полей северного региона Казахстана, на которых применялись элементы минимальной и нулевой технологий возделывания зерновых культур.

## 4.2 Оценка влияния конструктивной массы орудия на заглубление и равномерность движения плоскорежущего рабочего органа на заданной глубине обработки

В соответствии с п.п. 3.4.3 методики экспериментальных исследований было уточнено значение минимальной конструктивной массы орудия (кг/м), необходимой для заглубления и устойчивого движения на заданной глубине в рассматриваемых почвенных условиях. Полученная в ходе проведения экспериментальных исследований зависимость ΔhФ = *f*(;) представлена на рисунке 4.1.

В соответствии с рисунком 4.1 изменчивость или вариация отклонения фактической глубины обработки от заданной (υ(ΔhФ), %) на рассматриваемом промежутке [0,6; 1,0] м при - const. Имеет следующие значения:

- υ(ΔhФ) = 2,9% при = 300 кг/м;

- υ(ΔhФ) = 2,6% при = 320 кг/м;

- υ(ΔhФ) = 2,7% при = 340 кг/м;

- υ(ΔhФ) = 2,5% при = 360 кг/м;

- υ(ΔhФ) = 2,6% при = 380 кг/м.

Указанные значения υ(ΔhФ) меньше ,чем относительная предельная погрешность измерения глубины обработки ( = 3,2%), выполняется условие:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.1) |

Следовательно, на рассматриваемом промежутке [0,6; 1,0] м, при - const. изменение ΔhФявляется незначительным (ΔhФ– const.), то есть изменение ширины захвата плоскорежущего рабочего органа при постоянной удельной конструктивной массе не влияет на отклонение фактической глубины обработки от заданной.

|  |
| --- |
|  |
|  |
| Рисунок 4.1 – Влияние удельной конструктивной массы орудия (, кг/м) и ширины захвата плоскорежущего рабочего органа (, м) на отклонение фактической глубины обработки от заданной (ΔhФ, м-2) |

Тогда, для удобства дальнейшего анализа вместо зависимости ΔhФ = *f*(;) рассмотрим зависимость ΔhФ = *f*() при =0,6 м (эталонный плоскорежущий рабочий орган РСП) в соответствии с рисунком 4.2.

|  |
| --- |
|  |
|  |
| Рисунок 4.2 – Влияние удельной конструктивной массы орудия (, кг/м) на отклонение фактической глубины обработки от заданной (ΔhФ, м-2) |

В соответствии с рисунком 4,2 на промежутке = [300; 320] кг/м заглубление плоскорежущего рабочего органа на заданную глубину обработки не происходит - значение ΔhФ превышает агротехнически допустимое отклонение.

На наш взгляд, это происходит из-за того, что усилие, с которым режущие кромки долота и лемехов воздействуют на почвенный слой, недостаточны для разрушения почвенного слоя на требуемой глубине. Хотя тенденция к уменьшению отклонения ΔhФ на этом участке наблюдается – так при= 300 кг/м значение ΔhФ = 5,10 см, а при увеличении удельной конструктивной массы до = 320 кг/м ΔhФ  уменьшилось на 39,0% (ΔhФ = 3,1 см).

При= 337 кг/м значение ΔhФ = 1,49 см соответствует предъявляемым агротехническим требованиям, а, следовательно, говорит о достижении заданной глубины обработки.

То есть при такой удельной конструктивной массе орудия напряжение, возникающее в почвенном слое от взаимодействия с режущими кромками долота и лемехов, превышает предельное сопротивление почвенного слоя сжатию (преобладающий вид деформации) из-за чего плоскорежущий рабочий орган проникает на заданную глубину обработки.

Дальнейшее увеличение удельной конструктивной массы орудия не оказывает значительного влияния на значение ΔhФ (см). Так, на рассматриваемом промежутке = 360-380 кг/м ΔhФ  = 1,48-1,52 см соответственно. Изменение ΔhФнаходится в пределах 2,0-2,6 %, что меньше относительной предельной погрешности измерения глубины обработки ( = 3,2%).

Следовательно, минимальное значение удельной конструктивной массы орудия, при котором выполняется условие устойчивого движения плоскорежущего рабочего органа по глубине для рассматриваемых почвенных условий должно соответствовать условию:

|  |  |
| --- | --- |
| 337 кг/м. |  |

При проведении теоретических исследований нами была разработана математическая модель для определения минимально допустимой конструктивной массы орудия (2.47), в соответствии с которой = 334,0 кг/м. Для оценки ее адекватности воспользуемся методикой, представленной в п.п. 3.4.3.

Рассогласование между теоретическим и экспериментальным значением, определенное в соответствии с формулой (3.12), составило 334,0-337,0=3,0 кг/м.

Доверительный интервал математического ожидания, определенный в соответствии с формулой (3.13), был равен = 6,14 кг/м. Поскольку < считается, что условие точности математической модели в рассматриваемой точке выполнено.

Предложенная математическая модель соответствует условию непротиворечивости, поскольку математическая модель и экспериментальная зависимость имеют идентичный характер изменения параметров.

Следовательно, разработанная нами математическая модель для определения удельной конструктивной массы почвообрабатывающего орудия, соответствует поведению реального объекта и является адекватной.

После уточнения значения (кг/м) для получения значений (Н/м) сопоставимых с результатами теоретических исследований значение (кг/м) для исследуемого плоскорежущего рабочего органа при его тензометрировании устанавливалось в соответствии с рисунком (2.12).

## 4.3 Оценка влияния конструктивных параметров плоскорежущего рабочего органа на агротехнические и энергетические показатели работы

На данном этапе экспериментальных исследований были выполнены следующие работы:

- во-первых, была проверена гипотеза о взаимном влиянии длины консольной части долота и ширины захвата плоскорежущего рабочего органа на крошение почвенного слоя;

-во-вторых, было оценено влияние исследуемых параметров плоскорежущего рабочего органа на сохранность стерни и пожнивных остатков на поверхности поля;

- в-третьих, было оценено влияние исследуемых параметров плоскорежущего рабочего органа на создаваемое тяговое сопротивление.

### 4.3.1 Оценка влияния конструктивных параметров плоскорежущего рабочего органа на крошение почвенного слоя

Результаты исследований по оценке взаимного влияния консольной части долота и ширины захвата плоскорежущего рабочего органа на крошение почвенного слоя представлены на рисунке 4.3.

Для плоскорежущих рабочих органов на исследуемом промежутке = [2,0; 2,8] м/c крошение почвенного слоя (, %) имеет следующие значения:

- при стандартной длине консольной части долота (вариант № 1) соответственно:

-- = 62,3-68,4% при = 0,6 м;

-- = 53,6-58,8% при = 0,7 м;

-- = 46,7-51,3% при = 0,8 м;

-- = 41,7-45,8% при = 0,9 м;

-- = 38,0-41,7% при = 1,0 м;

- при исследуемой длине консольной части долота (вариант № 2) соответственно:

-- = 64,8-69,3% при = 0,6 м;

-- = 63,7-69,9% при = 0,7 м;

-- = 63,1-69,3% при = 0,8 м;

-- = 62,4-68,5% при = 0,9 м;

-- = 61,8-67,8% при = 1,0 м.

|  |
| --- |
|  |
| ○ – длина долота стандартная (вариант № 1, - const.); ● – длина долота исследуемая (вариант № 2, - var.) |
|  |
| Рисунок 4.3 – Влияние ширины захвата плоскорежущего рабочего органа (, м) со стандартной длиной консольной части долота ( - const.) и исследуемой длиной консольной части долота ( - var.) и скорости движения (, м/c) на общее крошение почвенного слоя (, %) |

Анализ представленной зависимости показывает, что между исследуемыми факторами и процессом крошения почвенного слоя наблюдаются следующие закономерности:

1. Увеличение скорости движения на исследуемом промежутке = [1,7; 2,9] м/c при - const. приводит к определенному росту крошения почвенного слоя. Так, в сравнении с начальным скоростным режимом работы при = 1,7 м/с прирост крошения (, %) составил:

- ≈ 2,2 % при = 2,0 м/с;

- ≈ 4,6 % при = 2,3 м/с;

- ≈ 7,1 % при = 2,6 м/с;

- ≈ 9,8 % при = 2,9 м/с.

Относительная предельная погрешность измерения крошения составляет = 4,7%. Существенное влияние на крошение почвенного слоя оказывает прирост скорости движения 0,6 м/св сравнении с начальным скоростным режимом работы.

Данная взаимосвязь наблюдается на всем исследуемом промежутке = [0,6; 1,0] м для плоскорежущих рабочих органов со стандартной (вариант № 1) и исследуемой (вариант № 2) длиной долота.

2. Характер изменения зависимостипри - const. на исследуемом промежутке = [0,6; 1,0] м будет зависеть от используемого варианта долота. Так, при использовании плоскорежущих рабочих органов со стандартной длиной консольной части долота (вариант №1, рисунок 4.3) при max прирост крошения (, %) в сравнении с базовым вариантом ( = 62,3 % при = 0,6 м) имел отрицательное значение:

- ≈ - 14,0 % = 62,3% при = 0,7 м;

- ≈ -25,0 % при = 0,8 м;

- ≈ -33,1 % при = 0,9 м;

- ≈ - 37,4 % при = 1,0 м.

При использовании плоскорежущих рабочих органов с исследуемой длиной долота (вариант № 2, рисунок 4.3) при max прирост крошения (, %) в сравнении с базовым вариантом ( = 0,6 м) выглядел иначе:

- ≈ - 1,7 % при = 0,7 м;

- ≈ - 2,6 % при = 0,8 м;

- ≈ -3,7 % при = 0,9 м;

- ≈ - 4,6 % при = 1,0 м.

При использовании плоскорежущих рабочих органов со стандартной длиной консольной части долота можно говорить о значительном ухудшении крошения почвенного слоя, так как в 3-8 раз больше, чем .

При использовании плоскорежущих рабочих органов с исследуемой длиной долота крошение уменьшилось на 1,7-4,6%, что находиться в пределах ошибки опыта ( = 4,7%).

Следовательно, при использовании долота с исследуемой длиной консольной части долота (вариант № 2) с увеличением ширины захвата плоскорежущего рабочего органа не происходит значительного ухудшения крошения почвенного слоя в сравнении с базовым вариантом ( = 0,6 м).

Для того, чтобы более подробно изучить причину изменения общего крошения в зависимости от используемого варианта плоскорежущего рабочего органа – со стандартной и исследуемой длиной консольной части долота, необходимо рассмотреть изменение крошения почвенного слоя по ширине захвата плоскорежущего рабочего органа по мере удаления от центральной части к периферии.

Поскольку рассматриваемые плоскорежущие рабочие органы имеют симметричную конструкцию за точку отсчета, относительно которой оценивалось удаление от центральной части, была принята продольно-вертикальная плоскость симметрии, разделяющая плоскорежущий рабочий орган на две равных части, в соответствии с рисунком 4.4.

|  |
| --- |
|  |
|  |
| = 0,2 м; , м |
|  |
| Рисунок 4.4 – Расположение центральной и периферийной зон относительно поперечно-горизонтальной плоскости симметрии плоскорежущего рабочего органа |

Примем, что общее крошение почвенного слоя (, %) является среднеарифметической двух составляющих – крошение почвенного слоя центральной частью плоскорежущего рабочего органа (, %) и крошение почвенного слоя периферийной частью плоскорежущего рабочего органа (, %):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4.2) |

Под крошением почвенного слоя центральной частью плоскорежущего рабочего органа (, %) понимается крошение почвенного слоя по всей глубине обработки (*h*, м), ограниченное в поперечно-горизонтальной плоскости отрезком , причем поперечно-горизонтальная плоскость делит отрезок на две равные части.

Под крошением почвенного слоя периферийной частью плоскорежущего рабочего органа (, %) понимается крошение почвенного слоя по всей глубине обработки (*h*, м), ограниченное в поперечно-горизонтальной плоскости отрезком , где = /2 + /2.

Изменение крошения почвенного слоя по ширине захвата плоскорежущего рабочего органа со стандартной и исследуемой длиной консольной части долота для центральной и периферийной части представлено на рисунке 4.5.

Рассмотрим наиболее неблагоприятный скоростной режим (когда min) = 1,7 м/с.

|  |
| --- |
|  |
| а) |
|  |
| б) |
|  |
| а) плоскорежущие рабочие органы со стандартными долотами ( - const.);  б) плоскорежущие рабочие органы с исследуемыми долотами ( - var.) |
|  |
| Рисунок 4.5 – Влияние ширины захвата плоскорежущего рабочего органа со стандартными и исследуемыми долотами на общее крошение почвенного слоя (, %), крошение почвенного слоя центральной частью плоскорежущего рабочего органа (, %) и крошение почвенного слоя периферийной частью плоскорежущего рабочего органа (, %) при = 1,7 м/с |

Анализ полученных зависимостей показывает, что при использовании плоскорежущих рабочих органов со стандартной длиной консольной части долота (рисунок 4.5, а) при max в сравнении с базовым вариантом, когда = 0,6 м, наблюдается следующее:

- крошение почвенного слоя центральной части плоскорежущего рабочего органа (, %) на исследуемом интервале = [0,6; 1,0] м находилось в пределах =66,3-68,8%, изменение показателя составило ≈ 3,6%. Учитывая, что = 4,7%, нами сделан вывод о том, что при использовании плоскорежущих рабочих органов со стандартной длиной долота ( - const.) крошение почвенного слоя центральной частью плоскорежущего рабочего органа (, %) изменяется незначительно, то есть - const., и не зависит от ширины захвата плоскорежущего рабочего органа;

- крошение почвенного слоя периферийной частью плоскорежущего рабочего органа (, %) на исследуемом интервале = [0,6; 1,0] м изменялось в широком диапазоне от = 55,8 % до = 10,6 % соответственно при = 0,6 и 1,0 м. Изменение показателя составило:

-- = -28,8% ( =39,7%) при = 0,7 м;

-- = -52,9% ( =26,3%) при = 0,8 м;

-- = -70,0% ( =16,6%) при = 0,9 м;

-- = -81,0% ( =10,6%) при = 1,0 м.

Столь значительное снижение крошения (, %) в соответствии с формулой (4.2) привело к снижению общего крошения почвенного слоя на исследуемом интервале = [0,6; 1,0] м с = 62,3 % при = 0,6 м до следующих значений:

- = 53,6 % при = 0,7 м ( = - 14,0 %);

- = 46,7 % при = 0,8 м ( = - 25,0%);

- = 41,7 % при = 0,9 м ( = - 33,1%);

- = 38,5 % при = 1,0 м ( = - 38,2%).

Иная зависимость наблюдалась между (%), (%), (%) и (м) при использовании плоскорежущих рабочих органов с исследуемыми долотами (рисунок 4.5, б). Так, при max выявлено, что:

- на исследуемом интервале = [0,6; 1,0] м в сравнении с базовым вариантом ( = 0,6 м, = 69,6 %) наблюдался определенный рост крошения почвенного слоя центральной частью плоскорежущего рабочего органа (, %):

-- =70,4% ( = 1,1%) при = 0,7 м;

-- =71,7% ( = 3,0%) при = 0,8 м;

-- =73,2% ( = 5,2%) при = 0,9 м;

-- =74,3% ( = 6,6%) при = 1,0 м.

Несмотря на то, что на интервале = [0,7; 0,8] м увеличение крошения (%) с учетом (%) является незначительным, прослеживается определенная закономерность между увеличением ширины захвата плоскорежущего рабочего органа (с одновременным увеличением длины консольной части долота) и крошением почвенного слоя его центральной частью (, %) на исследуемом интервале = [0,6; 1,0] м;

- крошение почвенного слоя в периферийной части плоскорежущего рабочего органа (, %) на исследуемом интервале = [0,6; 1,0] м в сравнении с базовым вариантом ( = 0,6 м, = 60,0 %) уменьшалось:

-- =57,0% ( = -5,0%) при = 0,7 м;

-- =54,5% ( = -9,2%) при = 0,8 м;

-- =51,6% ( = -14,0%) при = 0,9 м;

-- =49,2% ( = -18,0%) при = 1,0 м.

При увеличении ширины захвата плоскорежущих рабочих органов с исследуемой длиной консольной части долота наблюдалось снижение крошения почвенного слоя в периферийной части, однако, в сравнении с первым вариантом плоскорежущих рабочих органов (рисунок 4.5, а) снижение было не таким резким – так при - const. увеличение с 0,6 до 1,0 м привело к снижению на 81,0 % (с 55,8 до 10,6 % соответственно при = 0,6 м и = 1,0 м), а при - var. увеличение с 0,6 до 1,0 м привело к снижению на 18,0 %.

В итоге снижение общего крошения почвенного слоя (, %) плоскорежущими рабочими органами с исследуемой длиной долота на интервале = [0,6; 1,0] в сравнении с базовым вариантом ( = 0,6 м, =64,8 %) находилось в пределах ошибки опыта ( = 4,7%):

- = 63,7 % при = 0,7 м ( = - 1,7 %);

- = 63,1 % при = 0,8 м ( = - 2,6%);

- = 62,4 % при = 0,9 м ( = - 3,7%);

- = 61,8 % при = 1,0 м ( = - 4,6%).

То есть использование плоскорежущих рабочих органов с исследуемой длиной консольной части долота позволяет при max сохранить общее крошение почвенного слоя на уровне базового рабочего органа ( = 0,6 м). В свою очередь, эта позволяет обеспечивать качественное крошение почвенного слоя в соответствии с агротехническими требованиями на всем интервале = [0,6; 1,0], в соответствии с рисунком 4.6.

|  |
| --- |
|  |
| ○ – длина долота стандартная (вариант № 1, - const.); ● – длина долота исследуемая (вариант № 2, - var.) |
|  |
| Рисунок 4.6 – Влияние ширины захвата плоскорежущего рабочего органа (, м) со стандартной длиной консольной части долота ( - const.) и исследуемой длиной консольной части долота ( - var.) на общее крошение почвенного слоя (, %) при = 1,7 м/с |

Выявленные закономерности между шириной захвата плоскорежущего рабочего органа с различными вариантами долот и крошением почвенного слоя являются доказательством достоверности выдвинутой нами гипотезы о влиянии длины консольной части долота на площадь зоны интерференции деформации почвенного слоя, что, в свою очередь, влияет на степень крошения обрабатываемого почвенного слоя. Так, стабильное и относительно высокое крошение почвенного слоя в центральной части плоскорежущего рабочего органа, имеющей фиксированное значение ( = 0,2 м) объясняется тем, что эта зона находится внутри зоны интерференции деформации почвенного слоя – на напряжения, возникающие в почвенном слое в результате воздействия консольной части долота, накладываются напряжения от воздействия лемехов и частично стойки. А снижение крошения почвенного слоя в периферийной части объясняется тем, что туда лишь частично проникает зона интерференции деформаций.

Причем, если для базового варианта плоскорежущего рабочего органа ( = 0,6 м) этого проникновения достаточно для того, чтобы обеспечить требуемый агротехникой уровень общего крошения (рисунок 4.6), то при = [0,7; 1,0] м, а - const. в соответствии с формулой (1.2) площадь - const., площадь max, а min.

Одновременное увеличение длины консольной части долота ( - var.) и ширины захвата плоскорежущего рабочего органа позволило добиться условия, при котором max и max, благодаря чему при = [0,7; 1,0] м - const. Поэтому в соответствии с рисунком 4.6 при max – const. (изменение общего крошения было в пределах ошибки опыта).

### 4.3.2 Оценка влияния конструктивных параметров плоскорежущего рабочего органа на сохранность стерни и пожнивных остатков

Результаты экспериментальных исследований по оценке взаимного влияния консольной части долота, ширины захвата плоскорежущего рабочего органа и скорости движения на сохранность стерни и пожнивных остатков представлены на рисунке 4.7.

При использовании плоскорежущего рабочего органа со стандартной длиной консольной части долота установлено следующее:

1. Характер изменения функциизависел от скорости движения. Так, при = 1,7 м/с при max наблюдался определенный рост сохранности стерни в сравнении с базовым вариантом - = 62,4% при = 0,6 м (предельная относительная ошибка опыта= 4,8%):

- = 65,7 % ( = 5,3%) при = 0,7 м;

- = 67,8 % ( = 8,6%) при = 0,8 м;

- = 70,4 % ( = 12,8%) при = 0,9 м;

- = 72,7 % ( = 16,5%) при = 1,0 м.

При = 2,0 м/с при max так же как и при = 1,7 м/с наблюдалось увеличение сохранности стерни. Однако, максимальный прирост показателя = 1,6% ( = 57,1 % при = 0,6 м, = 58,0 % при = 1,0 м), что было меньше ошибки опыта (= 4,8%). Следовательно, можно утверждать, что на данном скоростном режиме изменение сохранности стерни было незначительным (- const.).

|  |
| --- |
|  |
| а) |
|  |
| б) |
|  |
| = 1,7 м/с; = 2,0 м/с; = 2,3 м/с; = 2,6 м/с; = 2,9 м/с |
|  |
| а) плоскорежущий рабочий орган со стандартной длиной консольной части долота ( - const.); б) плоскорежущий рабочий орган с исследуемой длиной консольной части долота ( - var.) |
|  |
| Рисунок 4.7 – Влияние ширины захвата плоскорежущего рабочего органа (, м) и скорости движения (, м/с) на сохранность стерни (, %) |

На интервале = [2,3; 2,9] м/с наблюдался противоположенный результат – min. при max:

- при = 2,3 м/с = - 21,4% ( = 55,1 % при = 0,6 м, = 43,3% при = 1,0 м);

- при = 2,6 м/с = - 24,2% ( = 51,1 % при = 0,6 м, = 38,7% при = 1,0 м);

- при = 2,9 м/с = - 24,7% ( = 46,1 % при = 0,6 м, = 34,7% при = 1,0 м).

2. Зависимостьна рассматриваемом интервале = [0,6; 1,0] м при - const. имела стабильную тенденцию min. при max:

- при = 0,6 м = - 26,10% ( = 62,4% при = 1,7 м/с , = 46,1% при = 2,9 м/с );

- при = 0,7 м = - 34,9% ( = 65,7 % при = 1,7 м/с , = 42,8% при = 2,9 м/с );

- при = 0,8 м = - 41,7% ( = 67,8% при = 1,7 м/с , = 39,5% при = 2,9 м/с );

- при = 0,9 м = - 47,2% ( = 70,4 % при = 1,7 м/с , = 37,2% при = 2,9 м/с );

- при = 1,0 м = - 52,3% ( = 72,7 % при = 1,7 м/с , = 34,7% при = 2,9 м/с ).

Соответствие агротехническим требованиям (≥ 60,0%) при использовании плоскорежущего рабочего органа со стандартной длиной консольной части долота выполнялось при скорости агрегатирования не более 1,7 м/с.

При использовании плоскорежущего рабочего органа с исследуемой длиной консольной части характер изменения функцииоставался постоянным. Наблюдалась стабильная закономерность – max при max. На исследуемом скоростном интервале = [1,7; 2,9] м/с:

- при = 1,7 м/с = 25,3% ( = 65,1% при = 0,6 м, = 81,6 % при = 1,0 м);

- при = 2,0 м/с = 27,3% ( = 60,1 % при = 0,6 м, = 76,5 % при = 1,0 м);

- при = 2,3 м/с = 32,2% ( = 53,7 % при = 0,6 м, = 71,0 % при = 1,0 м);

- при = 2,6 м/с = 31,0% ( = 44,5% при = 0,6 м, = 58,3% при = 1,0 м);

- при = 2,9 м/с = 34,5% ( = 39,1 % при = 0,6 м, = 52,6 % при = 1,0 м).

При рассмотрении плоскорежущего рабочего органа с постоянной шириной захвата наблюдалась тенденция min. при max:

- при = 0,6 м = - 26,0% ( = 65,1% при = 1,7 м/с , = 39,1% при = 2,9 м/с);

- при = 0,7 м = - 38,8% ( = 70,1 % при = 1,7 м/с , = 42,9% при = 2,9 м/с);

- при = 0,8 м = - 38,2% ( = 73,5% при = 1,7 м/с , = 45,4% при = 2,9 м/с);

- при = 0,9 м = - 35,8% ( = 78,0 % при = 1,7 м/с , = 50,1% при = 2,9 м/с);

- при = 1,0 м = - 35,5% ( = 81,6 % при = 1,7 м/с , = 52,6% при = 2,9 м/с).

Соответствие агротехническим требованиям (≥ 60,0%) при использовании плоскорежущего рабочего органа с исследуемой длиной консольной части долота в зависимости от ширины захвата плоскорежущего рабочего органа обеспечивалось на следующих скоростных режимах:

- при = 0,6 м ( = 65,1-60,1%) = [1,7; 2,0] м/с;

- при = 0,7 м ( = 70,1-60,6%) = [1,7; 2,3] м/с;

- при = 0,8 м ( = 73,5-63,8%) = [1,7; 2,3] м/с;

- при = 0,9 м ( = 78,0-67,8%) = [1,7; 2,3] м/с;

- при = 1,0 м ( = 81,6-71,0%) = [1,7; 2,3] м/с.

В процессе взаимодействия плоскорежущего рабочего органа с почвенным слоем, частицы, из которых он состоит, приобретали определенную скорость движения, а, следовательно, и энергию. При взаимном движении почвенных частиц происходит естественный процесс их соударения, в результате которого возможно либо их разрушение (частичное или полное), либо изменение их первоначальной пространственной ориентации (частичное или полное переворачивание).

В п.п. 4.3.1 было установлено, что при использовании плоскорежущего рабочего органа со стандартной длиной консольной части долота ( - const.) наблюдаетсяmin при max. Данное обстоятельство выражается в образовании крупных почвенных частиц размером ≥ 5 см, которые соответственно имеют большую массу, чем агротехнически ценная фракция размером 0,1-5,0 см.

При недостаточном крошении почвенного слоя энергия от соударения почвенных частиц размером ≥ 5 см, как правило, не приводила к полному разрушению, однако ее было достаточно для того, чтобы в результате соударения происходило частичное либо полное переворачивание почвенных частиц. В результате этого стерня и пожнивные остатки, изначально находившиеся на дневной поверхности, оказались погребенными под слоем почвы.

Это объясняет изменчивый характер зависимости при max( max при = 1,7; м/с, - const. при = 2,0 м/с и min. при = [2,3; 2,9] м/с) для плоскорежущего рабочего органа со стандартной длиной консольной части долота (min при max). При = 1,7 м/с почвенные частицы размером более 5 см не обладали достаточной энергией для совершения полного оборота. И уменьшение количества развальных борозд на единицу ширины при увеличении ширины захвата рабочего органа способствовало росту процента сохраненной стерни – на данном режиме фактическая сохранность стерни соответствовала агротехническим требованиям. Параллельный рост скорости привел к интенсификации описанного процесса переворачивания крупных частиц почвы. В результате чего наблюдалось снижение сохраненной на поверхности поля стерни.

Несмотря на то, что при соударении не происходило разрушение крупных почвенных частиц, наблюдалось их истирание, а также истирание более мелких частиц почвы. Интенсивность этого истирания возрастала с увеличением скорости движения плоскорежущего рабочего органа. Что, в свою очередь, приводило к засыпанию стерни, оставшейся на дневной поверхности. Поэтому происходило сокращение сохраненной стерни для одного и того же плоскорежущего рабочего органа ( - const.) при увеличении скорости движения.

При использовании плоскорежущего рабочего органа с исследуемой длиной консольной части долота общее крошение почвенного слоя при max оставалось постоянным.

Следовательно, и количество крупных почвенных частиц также оставалось постоянным. Это объясняет стабильный рост сохраненной стерни при max на всех исследуемых скоростных режимах. Основная причина снижения процента сохраненной на поверхности поля стерни при увеличении скорости движения, как и в случае использования плоскорежущего рабочего органа со стандартным долотом, заключалась в интенсификации процесса истирания почвы и засыпания растительных остатков. В соответствии с рисунками 4.8-4.10 представлены фотографии поверхности поля, после обработки плоскорежущими рабочими органами со стандартной и исследуемой длиной консольной части долота на различных скоростных режимах.

|  |  |
| --- | --- |
| E:\Учеба\Докторантура\_Попытка № 4 2017 год\Диссертация\раздел 4\фото стени\стандарт долото\0,6 м скорость 2,0 мс.JPG | E:\Учеба\Докторантура\_Попытка № 4 2017 год\Диссертация\раздел 4\фото стени\стандарт долото\0,6 м скорость 2,6 мс.JPG |
| а) | б) |
|  | |
| а) = 1,7 м/с; б) = 2,6 м/с | |
|  | |
| Рисунок 4.8 – Поверхность поля после обработки базовым вариантом плоскорежущего рабочего органа ( = 0,6 м) на различных скоростных режимах | |

Таким образом, использование плоскорежущего рабочего органа с исследуемой длиной консольной части долота позволило повысить максимальную скорость агрегатирования, при которой сохранность стерни соответствует агротехническим требованиям (≥ 60,0%) с = 1,7 м/с ( = [0,6; 1,0] м, плоскорежущий рабочий орган со стандартной длиной консольной части долота) до = 2,3 м/с при = [0,7; 1,0] м.

|  |  |
| --- | --- |
| E:\Учеба\Докторантура\_Попытка № 4 2017 год\Диссертация\раздел 4\фото стени\стандарт долото\0,9 скорость 2,0 мс.JPG | E:\Учеба\Докторантура\_Попытка № 4 2017 год\Диссертация\раздел 4\фото стени\стандарт долото\IMG_1451.JPG |
| а) | б) |
|  | |
| а) = 1,7 м/с; б) = 2,6 м/с | |
|  | |
| Рисунок 4.9 – Поверхность поля после обработки плоскорежущим рабочим органом с шириной захвата = 0,9 м со стандартной длиной консольной части долота на различных скоростных режимах | |

Влияние ширины захвата плоскорежущего рабочего органа, варианта долота (стандартная или исследуемая длина консольной части) и скорости агрегатирования на тяговое сопротивление представлены далее.

|  |  |
| --- | --- |
| E:\Учеба\Докторантура\_Попытка № 4 2017 год\Диссертация\раздел 4\фото стени\новое долото\0,9 м 2,0 мс.jpg | E:\Учеба\Докторантура\_Попытка № 4 2017 год\Диссертация\раздел 4\фото стени\новое долото\0,9 м скорость 2,6.JPG |
|  |  |
| а) | б) |
|  | |
| а) = 1,7 м/с; б) = 2,6 м/с | |
|  | |
| Рисунок 4.10 – Поверхность поля после обработки плоскорежущим рабочим органом с шириной захвата = 0,9 м с исследуемой длиной консольной части долота на различных скоростных режимах | |

### 

### 4.3.3 Оценка влияния конструктивных параметров плоскорежущего рабочего органа на создаваемое ими тяговое сопротивление

Результаты экспериментальных исследований по оценке взаимного влияния консольной части долота, ширины захвата плоскорежущего рабочего органа и скорости движения на удельное тяговое сопротивление представлены на рисунке 4.11.

|  |
| --- |
|  |
|  |
| = 1,7 м/с; = 2,0 м/с; = 2,3 м/с; = 2,6 м/с; = 2,9 м/с |
|  |
| Рисунок 4.11 – Влияние ширины захвата плоскорежущего рабочего органа (, м) и скорости движения (, м/с) на полное удельное тяговое сопротивление плоскорежущего рабочего органа (, кН/м) с исследуемой длиной консольной части долота |

В соответствии с рисунком 4.11 одновременное увеличение ширины захвата плоскорежущего рабочего органа и длины консольной части долота привело к росту полного удельного тягового сопротивления плосокрежущего рабочего органа. Так, в сравнении с базовым вариантом при = 0,6 м на рассматриваемом скоростном интервале = [1,7; 2,9] м/с прирост полного удельного тягового сопротивления плоскорежущего рабочего органа (, %) составил:

- при = 0,7 м ≤ 2,1%;

- при = 0,8 м ≤ 3,6 % %;

- при = 0,9 м = 4,6-6,0%;

- при = 1,0 м = 6,1-7,4 %.

Учитывая значение предельной относительной ошибки опыта ( = 4,4%), нами сделан вывод о том, что при увеличении ширины захвата плоскорежущего рабочего органа с исследуемой длиной консольной части долота до значений = 0,7-0,8 м не происходит значительного увеличения полного удельного тягового сопротивления в сравнении с базовым вариантом (). Следовательно, энергоемкость процесса глубокой плоскорезной обработки почвы при использовании плоскорежущих рабочих органов с исследуемой длиной консольной части долота с шириной захвата 0,6-0,8 м будет одинаковой.

На примере плоскорежущих рабочих органов с шириной захвата 0,7 и 0,8 м оценим адекватность разработанной математической модели для определения полного удельного тягового сопротивления плоскорежущего рабочего органа. Теоретические и экспериментальные зависимости для рассматриваемых вариантов рабочих органов представлены на рисунке 4.12.

|  |  |
| --- | --- |
|  | |
| а) | |
|  | |
| б) | |
|  | |
|  | - экспериментальная зависимость |
| - теоретическая зависимость |
|  | |
| а) = 0,7 м; б) = 0,8 м | |
|  | |
| Рисунок 4.12 – Влияние ширины захвата плоскорежущего рабочего органа (, м) и скорости движения (, м/с) на полное удельное тяговое сопротивление плоскорежущего рабочего органа (, кН/м). Результаты теоретических и экспериментальных исследований | |

Адекватность математической модели оценивалась в соответствии с методикой, представленной в п.п. 3.4.5

Величины рассогласования между теоретическими и экспериментальными значениями (, кН/м) и доверительный интервал математического ожидания (, кН/м) полного удельного тягового сопротивления плоскорежущего рабочего органа представлены в таблице 4.1.

Анализ данных, представленных в таблице 4.1. показывает, что на всех рассматриваемых точках выполняется условие . Поэтому, условие точности математической модели является выполненным.

Таблица 4.1 – Рассогласование между теоретическими и экспериментальными значениями (, кН/м) и доверительный интервал математического ожидания (, кН/м) полного удельного тягового сопротивления плоскорежущего рабочего органа

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| , м | , м/с | , кН/м | | , кН/м | , кН/м |
| теоретич. | эксп. |
| 0,7 | 1,7 | 13,30 | 13,74 | 0,44 | 1,16 |
| 2,0 | 13,68 | 14,23 | 0,55 | 1,15 |
| 2,3 | 14,13 | 14,74 | 0,61 | 1,15 |
| 2,6 | 14,64 | 15,24 | 0,60 | 1,25 |
| 2,9 | 15,22 | 15,78 | 0,56 | 1,34 |
| 0,8 | 1,7 | 13,47 | 13,92 | 0,45 | 1,18 |
| 2,0 | 13,86 | 14,44 | 0,58 | 1,16 |
| 2,3 | 14,30 | 14,84 | 0,54 | 1,15 |
| 2,6 | 14,81 | 15,41 | 0,60 | 1,26 |
| 2,9 | 15,38 | 16,03 | 0,65 | 1,36 |

Разработанная математическая модель для нахождения полного удельного тягового сопротивления плоскорежущего рабочего органа соответствует условию непротиворечивости, поскольку математическая модель и экспериментальная зависимость имеют идентичный характер изменения параметров. Следовательно, разработанная нами математическая модель соответствует поведению реального объекта и является адекватной.

На основании проведенных нами экспериментальных исследований различных вариантов плоскорежущих рабочих органов нами было установлено следующее:

- предложенная гипотеза о влиянии длины консольной части долота плоскорежущего рабочего органа на общее крошение почвенного слоя является достоверной;

- одновременное увеличение ширины захвата плоскорежущего рабочего органа и длины консольной части долота позволило добиться постоянного значения общего крошения почвенного слоя, которое, во-первых, соответствовало агротехническим требованиям, а, во-вторых, общему крошению почвенного слоя, создаваемому базовым вариантом плоскорежущего рабочего органа ( = 0,6 м),

- постоянное значение общего крошения почвенного слоя при увеличении ширины захвата плоскорежущего рабочего органа обеспечило сохранность стерни в соответствии с агротехническими требованиями при одновременном увеличении скорости движения;

- математическая модель, разработанная для определения полного удельного сопротивления плоскорежущего рабочего органа, является адекватной;

- увеличение ширины захвата плоскорежущего рабочего органа до 0,7-0,8 м и одновременное увеличение длины консольной части долота привело к незначительному росту тягового сопротивления, который находился в пределах ошибки опыта.

Таким образом, использование плоскорежущего рабочего органа с шириной захвата 0,7-0,8 м и длиной консольной части долота соответственно 0,08 и 0,11 м в сравнении с базовым вариантом позволило увеличить рабочую скорость движения при условии соответствия общего крошения почвенного слоя и сохранности стерни агротехническим требованиям. При этом увеличение энергоемкости процесса при их использовании было незначительным.

Обоснованные конструктивные параметры плоскорежущего рабочего органа – ширина захвата и длина консольной части долота, а также удельная конструктивная масса орудия были использованы нами при создании макетного образца орудия для основной обработки уплотненных почв.

## 4.4 Результаты экспериментальных исследований по уточнению ширины захвата почвообрабатывающего орудия

В соответствии с программой (п.п. 3.1) и методикой (п.п. 3.4.4) экспериментальных исследований для уточнения ширины захвата почвообрабатывающего орудия нами была выполнена оценка влияния ширины захвата и скорости движения на агротехнические (, %; , %; h, см; и ΔhФ, см), энергетические (, кН и , кг/га) и эксплуатационно-технологические (, га/ч) показатели. Значения оцениваемых показателей представлены в таблице 4.2.

Заданная глубина обработки составила 27,0 см. Фактическая глубина обработки находилась в диапазоне 26,5-28,2 см. Отклонение средней глубины обработки от заданной составило 0,5-1,2 см, что соответствовало агротехническим требованиям.

Тяговые возможности и эксплуатационная масса трактора при условии соответствия частоты вращения коленчатого вала тракторного двигателя номинальным оборотам и величине буксования, не превышавшей предельно допустимого значения, обеспечили движение агрегата на следующих режимах:

- = 2,5 м/с при = 4,2 м;

- = 2,2 м/с при = 4,9 м;

- = 2,0 м/с при = 5,6 м;

- = 1,5 м/с при = 6,3 м.

Дальнейшее увеличение скорости оказалось невозможным из-за возросшего буксования ведущих колес трактора более 16% и падения оборотов коленчатого вала двигателя ниже номинальных. По этой причине не удалось обеспечить скорость движения более, чем 1,5 м/с при ширине захвата орудия 6,3 м. На всех указанных режимах работы общее крошение почвенного слоя соответствовало предъявляемым агротехническим требованиям. Сохранность стерни соответствовала агротехническим требованиям при скорости движения не более 2,3 м/с. Так, движение со скоростью 2,5 м/с (при = 4,2 м) привело к снижению сохранности стерни до 47,8%, что является недопустимым, так как нижний предел значений данного показателя в соответствии с агротехническими требованиями составляет 60,0%.

Таблица 4.2 – Значение показателей агротехнической, энергетической и эксплуатационно-технологической оценок макетного образца орудия для основной обработки уплотненных почв при различной ширине захвата и скорости движения

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| , м | , м/с | Значение показателей по видам оценок: | | | | | | |
| агротехнической | | | | энергетической | | эксплуатационно-технологической |
| , % | | , % | | , кН | , кг/га | , га/ч |
| по НД | факт. | по НД | факт. | факт. | факт. | факт. |
| 4,2 | 1,7 | ≥60,0 | 64,1 | ≥60,0 | 70,4 | 61,5 | 22,0 | 2,6 |
| 2,0 | 66,2 | 64,3 | 63,0 | 18,8 | 3,0 |
| 2,3 | 68,4 | 60,1 | 64,7 | 15,6 | 3,5 |
| 2,5 | 69,3 | 47,8 | 67,1 | 14,6 | 3,8 |
| 2,6 | - | - | - | - | - |
| 4,9 | 1,7 | 64,7 | 69,3 | 68,4 | 18,2 | 3,0 |
| 2,0 | 66,8 | 65,1 | 70,1 | 15,8 | 3,5 |
| 2,2 | 67,6 | 61,4 | 74,8 | 14,1 | 3,9 |
| 2,3 | - | - | - | - | - |
| 5,6 | 1,7 | 63,4 | 71,3 | 78,9 | 16,1 | 3,4 |
| 2,0 | 65,9 | 63,7 | 83,2 | 13,7 | 4,0 |
| 2,3 | - | - | - | - | - |
| 6,3 | 1,5 | 62,1 | 72,2 | 90,5 | 17,9 | 3,4 |
| 1,7 | - | - | - | - | - |

Характер изменения значений общего крошения почвенного слоя и сохранности стерни, полученных при экспериментальных исследованиях образа орудия для основной обработки уплотненных почв согласуется со значениями указанных показателей, полученными при проведении лабораторно-полевых исследований с вариантами плоскорежущих рабочих органов. Разница между значениями общего крошения и сохранности стерни была незначительной и находилась в пределах ошибки опытов.

Вид обработанной поверхности поля, позволяющий наглядно оценить уменьшение сохраненной стерни при увеличении скорости движения, представлен на рисунке 4.13.

Рассогласование между теоретическими и экспериментальными значениями тягового сопротивления орудия ( , кН) при одинаковых значениях ширины захвата (, м) и скорости движения (, м/с) было меньше доверительного интервала математического ожидания (, кН), то есть выполнялось условие ≤ . Следовательно, разработанная нами математическая модель удовлетворяет условию точности. Значения (кН) и (кН) представлены в таблице 4.3. Методика их определения – в соответствии с п.п. 3.4.5.

|  |  |
| --- | --- |
| E:\Документы Антон\Докторантура\_Попытка № 4 2017 год\Диссертация\раздел 4\фото стени\опыфтный образец\скорость 2,3 мс.JPG | E:\Документы Антон\Докторантура\_Попытка № 4 2017 год\Диссертация\раздел 4\фото стени\опыфтный образец\скорость 2,5 мс.JPG |
| а) | б) |
|  | |
| а) = 2,3 м/с; б) = 2,5 м/с | |
|  | |
| Рисунок 4.13 – Поверхность поля с сохраненными после обработки стерней и иными растительными остатками при различной скорости движения | |

Таблица 4.3 – Рассогласование между теоретическими и экспериментальными значениями (, кН/м) и доверительный интервал математического ожидания (, кН/м) тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| , м | , м/с | , кН | | , кН | , кН |
| теоретич. | эксп. |
| 4,2 | 1,7 | 59,8 | 61,5 | 1,7 | 3,4 |
| 2,0 | 62,2 | 63 | 0,8 | 3,5 |
| 2,3 | 63,3 | 64,7 | 1,4 | 3,6 |
| 2,5 | 65,3 | 67,1 | 1,8 | 3,7 |
| 4,9 | 1,7 | 69,8 | 68,4 | 1,4 | 3,8 |
| 2,0 | 72,6 | 70,1 | 2,5 | 3,9 |
| 2,2 | 73,9 | 74,8 | 0,9 | 4,2 |
| 5,6 | 1,7 | 79,7 | 78,9 | 0,8 | 4,4 |
| 2,0 | 82,9 | 83,2 | 0,3 | 4,6 |
| 6,3 | 1,5 | 89,7 | 90,5 | 0,8 | 5,0 |

Характер изменения значений тягового сопротивления, полученного в ходе проведения экспериментальных исследований, соответствует расчетным значениям при аналогичных значениях скорости движения и ширины захвата орудия. Следовательно, условие непротиворечивости для математической модели является выполненным.

Соответствие условиям точности и непротиворечивости позволяет сделать вывод об адекватности разработанной нами математической модели для определения ширины захвата и тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия. Максимальная производительность агрегата (, га/ч) и соответственно минимальный удельный расход топлива на гектар (, кг/га) с учетом ошибки опыта (=4,1%, = 6,1%, = 10,4 %) был достигнут на следующих режимах:

- при = 4,2 м, = 2,5 м/с, в этом случае = 3,8 га/ч, = 14,6 кг/га;

- при = 4,9 м, = 2,2 м/с, в этом случае = 3,9 га/ч, = 14,1 кг/га;

- при = 5,6 м, = 2,0 м/с, в этом случае = 4,0 га/ч, = 13,7 кг/га.

Однако, учитывая результаты агротехнической оценки, агрегатирование орудия со скоростью > 2,3 м/с является недопустимым из-за несоответствия сохранности стерни на данном скоростном режиме ( = 47,8 %) агротехническим требованиям ( ≥ 60,0 %). Следовательно, при агрегатировании орудия для основной обработки уплотненных почв с обоснованными параметрами плоскорежущих рабочих органов с трактором тягового класс 6 добиться максимальной производительности агрегата и минимального удельного расхода топлива на гектар ( = 3,9-4,0 га/ч, 13,7-14,1 кг/га) при условии выполнения основных агротехнических требований возможно при ширине захвата орудия = 4,9-5,6 м и скорости движения = 2,0-2,2 м/с. Полученные результаты были использованы при проведении оценки экономической эффективности обоснованного орудия.

## 4.5 Выводы по разделу

1. Для проверки достоверности и уточнения полученных в ходе выполнения теоретических исследований знаний проведены необходимые экспериментальные исследования с использованием ЛПУ и макетного образца орудия для основной обработки уплотненных почв .

2. Для проведения экспериментальных исследований были подобраны участки поля в Костанайском и Мендыкаринском районе, на которых в течение нескольких лет не проводилась глубокая обработка. Твердость почвы в слое 15-30 см составляла более 5 МПа, а плотность 1,3-1,4 кг/м3. Представленные характеристики почвы являются типичными для полей северного региона Казахстана, на которых применялись элементы минимальной и нулевой технологий возделывания сельскохозяйственных культур.

3. Проведена оценка влияния конструктивной массы орудия на заглубление и равномерность движения плоскорежущего рабочего органа на заданной глубине обработки. Установлено, что минимальное значение удельной конструктивной массы орудия, при которой происходит устойчивое движение рабочих органов на заданной глубине, в рассматриваемых условиях должно быть 337 кг/м.

4. Проведена оценка влияния конструктивных параметров плоскорежущего рабочего органа на крошение почвенного слоя. Установлено, что одновременное увеличение длины консольной части долота при увеличении ширины захвата плоскорежущего рабочего органа позволило добиться условия, при котором общее крошение почвенного слоя оставалось постоянным (изменение было в пределах ошибки опыта). Выявленные закономерности между шириной захвата плоскорежущего рабочего органа с различными вариантами долот и крошением почвенного слоя являются доказательством достоверности выдвинутой нами гипотезы о влиянии длины консольной части долота на площадь зоны интерференции деформации почвенного слоя, что, в свою очередь, влияет на степень крошения обрабатываемого почвенного слоя. Для сохранения общего крошения почвенного слоя ( = 62,3-68,4 % при = 1,7-2,9 м/с) на уровне базового рабочего органа ( = 0,6 м, = 0,05 м) длина консольной части долота должна быть равна следующим значениям:

- = 0,08 мм при = 0,7 м;

- = 0,11 мм при = 0,8 м;

- = 0,14 мм при = 0,9 м;

- = 0,17 мм при = 1,0 м.

5. Проведена оценка влияния конструктивных параметров плоскорежущего рабочего органа на сохранность стерни и пожнивных остатков. Установлено, что использование плоскорежущего рабочего органа с исследуемой длиной консольной части долота позволило повысить максимальную скорость агрегатирования, при которой сохранность стерни соответствует агротехническим требованиям (≥ 60,0%) с = 1,7 м/с ( = [0,6; 1,0] м, плоскорежущий рабочий орган со стандартной длиной консольной части долота) до = 2,3 м/с при = [0,7; 1,0] м.

6. Проведена оценка влияния конструктивных параметров плоскорежущего рабочего органа на создаваемое ими тяговое сопротивление. Установлено, что при использовании плоскорежущего рабочего органа с шириной захвата 0,7-0,8 м и длиной консольной части долота соответственно 0,08 и 0,11 м на рассматриваемом скоростном интервале 1,7-2,9 м/с не происходит значительного увеличения полного удельного тягового сопротивления в сравнении с базовым вариантом. Следовательно, энергоемкость процесса не изменится.

7. Уточнена ширина захвата почвообрабатывающего орудия. Установлено, что при агрегатировании орудия с тракторами тягового класса 6 для обеспечения максимальной производительности агрегата и минимального удельного расхода топлива на гектар ( = 3,9-4,0 га/ч, 13,7-14,1 кг/га) при условии выполнения основных агротехнических требований ширина захвата орудия должна составлять 4,9-5,6 м при скорости движения соответственно 2,2 и 2,0 м/с.

8. Установлено, что разработанные нами математические модели для определения минимально допустимой удельной конструктивной массы орудия, полного удельного тягового сопротивления плоскорежущего рабочего органа, ширины захвата и тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия соответствуют поведению реального объекта (соответствуют условиям точности и непротиворечивости) и являются адекватными.

9. Результаты экспериментальных исследований были использованы для оценки экономической эффективности орудия с обоснованными параметрами.

# 5 РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НОВОГО ОРУДИЯ ДЛЯ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ УПЛОТНЕННЫХ ПОЧВ

## 5.1 Расчет экономической эффективности применения нового орудия для основной обработки уплотненных почв

В результате проеденных теоретических и экспериментальных исследований были обоснованы основные параметры орудия для основной обработки уплотненных почв к тракторам тягового класса 6, которые позволяют добиться качественного выполнения технологического процесса при одновременном увеличении рабочей скорости движения, в сравнении с аналогом.

В качестве аналога был принят рыхлитель почвы РСП-5,4, который серийно выпускается на экспериментальном производстве КФ ТОО «НПЦ агроинженерии», является одним из лучших образцов почвообрабатывающих машин в своем классе и имеет широкой распространение в рассматриваемом регионе.

Однако, для принятия окончательного решения о целесообразности применения нового почвообрабатывающего орудия с обоснованными основными параметрами необходимо определить ценой каких затрат достигается указанный выше положительный результат. То есть, определить экономическую эффективность его применения в сравнении с существующим аналогом.

Показателями, характеризующими экономическую эффективность нового орудия, являлись:

- экономия совокупных затрат денежных средств;

- экономия прямых затрат денежных средств, экономия затрат труда;

- срок окупаемости дополнительных капитальных вложений;

- верхний предел цены новой техники.

Экономическая оценка, необходимая для определения указанных показателей, была выполнена в соответствии с требованиями СТ РК ГОСТ Р 53056 [178].

Основным источником исходной информации для экономической оценки являлись результаты экспериментальных исследований. На их основании были принята допустимая скорость движения нового орудия и аналога, при которой качество обработки соответствовало агротехническим требованиям.

Также источником информации служили инструктивно-методические издания и нормативные документы, технические характеристики заводов-изготовителей, данные Бюро национальной статистики РК.

Цена нового орудия и аналога была принята на основании сметной стоимости изготовления, предоставленной КФ ТОО «НПЦ агроинженерии», цена трактора тягового класса 6 – на основании данных официальных дилеров в РК, цена на ГСМ – на основании данных реализаторов ГСМ.

Технико-эксплуатационные показатели агрегатов с новым почвообрабатывающим орудием и аналогом представлены в таблице 5.1.

В соответствии с данными ,представленными в таблице 5.1, использование для глубокой плоскорезной обработки нового почвообрабатывающего орудия с шириной захвата 4,9-5,6 м позволяет повысить производительность агрегата при условии соответствия качества обработки агротехническим требованиям в 17,6-21,2% в сравнении с аналогом (рыхлитель РСП-5,4) и снизить удельный расход топлива на гектар на 14,8-18,0%. Что с учетом ошибки опыта является существенным улучшением технико-эксплуатационных показателей работы агрегата.

Таблица 5.1 – Технико-эксплуатационные показатели агрегатов

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Показатели | Состав агрегатов | | |
| базовый вариант | новый вариант | |
| К-735+РСП-5,4 | К735+новое орудие | |
| Операция | глубокая полскорезная обработка | | |
| Ширина захвата, м | 5,40 | 5,60 | 4,90 |
| Рабочая скорость, м/с (км/ч) | 1,70 (6,10) | 2,00 (7,20) | 2,20 (7,90) |
| Коэффициент использования времени: |  |  |  |
| - сменного | 0,85 | 0,85 | 0,85 |
| - эксплуатационного | 0,85 | 0,85 | 0,85 |
| Производительность за час времени, га/ч: |  |  |  |
| - основного | 3,30 | 4,03 | 3,88 |
| - сменного | 2,81 | 3,43 | 3,30 |
| - эксплуатационного | 2,81 | 3,43 | 3,30 |
| Часовой расход топлива, л/час | 51,60 | 51,60 | 51,60 |
| Часовой расход топлива, кг/час | 60,00 | 60,00 | 60,00 |
| Удельный расход топлива, кг/га | 21,36 | 17,51 | 18,19 |

Исходные данные для проведения экономической оценки и экономические показатели работы агрегатов представлены в приложении Д.

Показатели сравнительной экономической эффективности агрегатов представлены в таблицах 5.2 и 5.3.

Сопоставление значений основных показателей сравнительной экономической эффективности нового и базового агрегатов позволяет сделать вывод о том, что применение нового орудия для основной обработки уплотненных почв обеспечивает экономию затрат труда, удельного расхода топлива и совокупных затрат денежных средств.

Уменьшение общей совокупности затрат при использовании для глубокой плоскорезной обработки уплотненных почв нового почвообрабатывающего орудия шириной захвата 4,9-5,6 м при скорости движения соответственно 2,2 и 2,0 м с трактором тягового класса 6 позволило получить годовой экономический эффект в размере 1,48-1,67 млн. тенге.

Таблица 5.2 – Показатели сравнительной экономической эффективности агрегатов по образцам сравниваемой техники. При ширине захвата нового почвообрабатывающего орудия 5,6 м

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование показателя | Значение показателя по образцам сравниваемой техники | | Индекс изменения показателя, % |
| базовой | новой |
| Совокупные затраты денежных средств, тенге/га | 14339,2 | 11909,6 | 16,9 |
| Затраты труда, чел.-ч/га | 0,4 | 0,29 | 18,0 |
| Удельный расход топлива, кг/га | 21,4 | 17,5 | 18,0 |
| Годовой экономический эффект, тыс. тенге | - | 1665,3 | - |
| Капитальные вложения, млн. тенге | 87,1 | 87,6 | -0,6 |
| Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, лет | - | 0,3 | - |
| Верхний предел цены новой техники, тенге | - | 22155639,6 | - |
| Цена техники по данным предприятия-изготовителя, тенге | - | 9125000,0 | - |

Таблица 5.3 – Показатели сравнительной экономической эффективности агрегатов по образцам сравниваемой техники. При ширине захвата нового почвообрабатывающего орудия 4,9 м

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Наименование показателя | Значение показателя по образцам сравниваемой техники | | Индекс изменения показателя, % |
| базовой | новой |
| Совокупные затраты денежных средств, тенге/га | 14339,2 | 12090,0 | 15,7 |
| Затраты труда, чел.-ч/га | 0,4 | 0,3 | 14,8 |
| Удельный расход топлива, кг/га | 21,4 | 18,2 | 14,8 |
| Годовой экономический эффект, тыс. тенге | - | 1483,9 | - |
| Капитальные вложения, млн. тенге | 87,1 | 86,7 | 0,4 |
| Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, лет | - | - | - |
| Верхний предел цены новой техники, тенге | - | 19828232,9 | - |
| Цена техники по данным предприятия-изготовителя, тенге | - | 8220000,0 | - |

## 5.2 Выводы по разделу

Проведенная оценка экономической эффективности показала, что в сравнении с аналогом – рыхлителем РСП-5,4 (ширина захвата 5,45 м, скорость движения 1,7 м/с) применение нового орудия для основной обработки уплотненных почв с шириной захвата 4,9-5,6 м (скорость движения соответственно 2,2 и 2,0 м/с) с трактором тягового класса 6 при условии соответствия качества обработки агротехническим требованиям обеспечивает положительный эффект, выражающийся в следующем:

- совокупные затраты денежных средств снизились на 15,7-16,9% с 14,34 до 11,91-12,09 тыс.тенге/га, в том числе прямые затраты с 14,27 до 11,86-12,04 тыс. тенге/га;

- затраты труда снизились на 14,8-18,0% с 0,4 до 0,29-0,3 чел.-ч/га;

- удельный расход топлива снизился на 14,8-18,0 % с 21,4 до 17,5-18,2 кг/га;

- годовой экономический эффект составил 1,48-1,67 млн. тенге.

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений составил не более 0,3 года. Верхний предел цены новой техники составил 19,83-22,16 млн. тенге.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Частичный или полный отказ от традиционной для северного региона Казахстана глубокой безотвальной обработки, характерный для минимальной и нулевой технологий, является одной из причин уплотнения в рассматриваемом регионе почв, вовлеченных в сельскохозяйственное производство. Большинство существующих рабочих органов для глубокой безотвальной обработки не обеспечивают требуемое качество обработки . В первую очередь это выражается в невозможности обеспечить требуемое крошение почвенного слоя и одновременную сохранность стерни. Из существующих рабочих органов обеспечивает требуемое качество обработки плоскорежущий рабочий орган типа РСП, однако скорость его движения в этом случае не должна превышать 1,7 м/с.

2. Возможным решением обозначенной проблемы является использование плоскорежущего рабочего органа, параметры которого (консольная часть долота и ширина захвата) обеспечивают оптимальное соотношение между площадью зоны интерференции деформации почвенного слоя и площадью обрабатываемой почвы. Однако недостаточная изученность закономерностей между распределением деформации в почвенном слое и длиной консольной части долота не позволяют выбрать параметры плоскорежущего рабочего органа, обеспечивающие соответствие качества обработки установленным требованиям.

3. Были разработаны математические модели для определения напряжений, возникающих в различных точках рассматриваемого почвенного слоя под воздействием консольной части долота, для нахождения его тягового сопротивления, для определения составляющих полного тягового сопротивления плоскорежущего рабочего органа, для определения удельной конструктивной массы орудия. Была разработана математическая модель для нахождения тягового сопротивления почвообрабатывающего орудия и ширины его захвата.

4. В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований обоснованы основные параметры орудия для основной обработки уплотненных почв к трактору тягового класса 6:

- ширина захвата плоскорежущего рабочего органа 0,7-0,8 м при длине консольной части долота соответственно 0,08 и 0,11 м;

- удельная конструктивная масса орудия не менее 337 кг/м;

- ширина захвата орудия 4,9-5,6 м.

5. Образец орудия с обоснованными параметрами при проведении глубокой плоскорезной обработки (27 см) уплотненного стерневого поля при скорости движения 2,0-2,2 м/с обеспечил общее крошение почвенного слоя в пределах 65,9-67,6 %, и сохранность стерни и других растительных остатков – 61,4-63,7%, что соответствовало агротехническим требованиям.

Использование плоскорежущего рабочего органа с исследуемой длиной консольной части долота позволило повысить максимальную скорость агрегатирования, при которой качество обработки соответствует агротехническим требованиям с = 1,7 м/ до = 2,0-2,2 м/с.

6. Тяговое сопротивление орудия с обоснованными параметрами составило 74,8-83,2 кН, удельный расход топлива 13,7-14,1 кг/га. Производительность за час основного времени составила 3,9-4,0 га/ч.

При использовании плоскорежущего рабочего органа с шириной захвата 0,7-0,8 м и длиной консольной части долота соответственно 0,08 и 0,11 м не происходило значительное увеличение полного удельного тягового сопротивления в сравнении с базовым вариантом – прирост составил 2,1-3,6 %.

7. В сравнении с аналогом – рыхлителем РСП-5,4 (ширина захвата 5,4 м, скорость движения 1,7 м/с) применение нового орудия для основной обработки уплотненных почв с шириной захвата 4,9-5,6 м (скорость движения соответственно 2,2 и 2,0 м/с) с трактором тягового класса 6 при условии соответствия качества обработки агротехническим требованиям обеспечивает снижение совокупных затрат денежных средств на 15,7-16,9% с 14,34 до 11,91-12,09 тыс.тенге/га. Годовой экономический эффект от применения нового орудия составил 1,48-1,67 млн. тенге.

Применение нового орудия для основной обработки уплотненных почв обеспечило повышение производительности на 21%.

8. Проведенные исследования соответствую современному научному уровню и могут быть использованы при проектировании орудия для основной обработки уплотненных почв или проведении дальнейших исследований в данном направлении. Цель и задачи, поставленные перед диссертационной работой, достигнуты

9. Образец орудия для основной обработки уплотненных почв внедрен в АО «Заря» Мендыкаринского района Костанайской области (Приложение Е).

10. Полученные результаты научных исследований были использованы при разработке серии орудий для глубокой плоскорезной обработки почвы к энергонасыщенным тракторам в КФ ТОО «НПЦ агроинженерии» (Приложение Ж).

11. На основании проведенных исследований была подана заявка и получен патент Республики Казахстан на изобретение № 32745 (Приложение И).

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Система технологий и машин для комплексной механизации растениеводства в Казахстане на период до 2021 года. Рекомендации / В.А. Голиков, А.С, Усманов, А.С. Рзалиев и др. – Алматы: ТОО AD-Time, 2017. - 128 с.

2 Агроклиматические ресурсы Костанайской области. Научно-прикладной справочник / под ред. С.С. Байшоланова. – Астана, 2017. – 139 с.

3 Рекомендации по системе ведения сельского хозяйства. Кустанайская область / В.И. Двуреченский, М.М. Ермаков, Г.И. Сочнев и др. – Алма-Ата: Кайнар, 1970. – 393 с.

4 Наумов Н.С. Запасы гумуса и энергии эффективного плодородия черноземов южных Костанайской области // Многопрофильный научный журнал «3i интеллект, идея, инновация». – 2012. - №2 – С.52-55.

5 Государственная программа развития агропромышленного комплекса Республики Казахстан на 2017-2021 годы, ПП РК № 423 от 12.07.2018 // https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1800000423.

6 Молдахметов Р.К., Муканов А.Х. Рынок зерна Казахстана в условиях таможенного союза Муканов // Идеи и идеалы . 2011. – Т. 2, № 1(7). – С. 43-51.

7 Почвозащитное земледелие / под ред. А.И. Бараева. – М.: Колос, 1975. – 152 с.

8 Грибановский А.П., Бидлингмайер Р.В.. Ревякин Е.Л. и др. Комплекс противоэрозионных машин (устройство, регулировки, эксплуатация). – М.:Агропромиздат, 1989. – 152 с.

9 Колмаков П.П., Нестеренко А.М. Минимальная обработка почвы. – М.:Колос, 1981. – 240 с.

10 Аллен, Х.П. Прямой посев и минимальная обработка почвы. – М.: Агропромиздат, 1985. - 208 с.

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

12 Кирюшин В.И. Проблема минимизации обработки почвы: перспективы развития и задачи исследований // Земледелие. – 2013. – № 7. – С. 3-6.

13 Дридигер В.К. Ошибки при освоении технологии No-till // Земледелие. – 2016. – № 3. – С. 5-9.

14 Рекомендации по совершенствованию структуры пашни в системе севооборотов // [https://baraev.kz/ sistema\_ zemledelie / severeoborot/ 688-rekomendacii -po-sovershenstvovaniyu-struktury -pashni- v- sisteme-sevooborotov. html](https://baraev.kz/sistema_zemledelie/severeoborot/688-rekomendacii-po-sovershenstvovaniyu-struktury-pashni-v-sisteme-sevooborotov.html)

15 Проведение весенних полевых работ в системе сберегающего и органического земледелия в 2017 году. Рекомендации. – Заречное: Костанайский НИИСХ, 2017. – 55 с.

16 Кененбаев С.Б. Проблемы и приоритеты научного обеспечения ресурсосберегающего земледелия в Казахстане // Диверсификация растениеводства и No-till как основа сберегающего земледелия и продовольственной безопасности: сб. докладов международной конференции. – Астана-Шортанды, 2011. – С. 9-16.

17 Куваев А.Н., Солохин С.В. Влияние глубокой безотвальной обработки почвы на весенние запасы почвенной влаги в условиях Северного Казахстана // Научно-техническое обеспечение агропромышленного комплекса в реализации Государственной программы развития сельского хозяйства до 2020 года: сб. докладов международной научно-практической конференции. – Курган: Изд-во Курганской ГСХА, 2019. – С. 285-289.

18 Шилов М.П., Овчинникова К.П. Влияние приемов осенней обработки черноземов обыкновенных на дифференциацию пахотного слоя в условиях северного Казахстана // Многопрофильный научный журнал «3i интеллект, идея, инновация». – 2016. - № 4 – С.191-198.

19 RiedellW.E., OsborneS.L., PikulJ.L.Ir. и др. Tillage and crop residue effects on soil physical properties and corn yield // Soil Water Research. SouthDakotaUniversity. – 2006. – С. 1-5.

20 Пыхтин И.Г., Гостев А.В. Теоретические основы применения нулевых и поверхностных способов основной обработки почв под зерновые культуры // Информационно-технологическое обеспечение адаптивно-ландшафтных систем земледелия: сб. докладов. – Курск, 2012. – С. 241-246.

21 Пыхтин И.Г., Гостев А.В. Современные проблемы применения различных систем и способов основной обработки почвы // Достижения науки и техники АПК. – 2012. - № 1. – С. 3-6.

22 Черкасов Г.Н., Пыхтин А.В. Гостев А.В. Возможность применения нулевых и поверхностных способов основной обработки почвы в различных регоинах Европейской части Российской Федерации // Земледелие. – 2014. - № 5. – С. 13-16.

23 Черкасов Г.Н., Пыхтин А.В. Гостев А.В. Перспективы использования нулевых и поверхностных обработок в России // Актуальные агросистемы. – 2015. – № 7-8 (31). – С. 8-13.

24 Пыхтин И.Г., Пыхтин А.В., Нитченко Л.Б. Теоретические основы систематизации обработок почвы в агротехнологиях нового поколения // Земледелие. – 2015. - № 5. – С. 13-15.

25 Астафьев В.Л., Окунев Г.А., Шепелёв С.Д. и др. Проектирование машиноиспользования в земледелии. –Костанай: New line media, 2018. – 188 с.

26 Захарова Е.Б., Щитов С.В., Немыкин А.А. Влияние уплотняющего действия движителей тракторов на формирование урожая ячменя при разных способах основной обработки почвы // Достижение науки и АПК. – 2012. - №5. – С. 50-52.

27 Скрыпников А.В., Кондрашова А.В., Леонова М.Н. Техногенное воздействие мобильных сельскохозяйственных машин на почву // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2013. - № 1(36). – С. 51-56.

28 Николаев В.А. Изменение агрофизических свойств почвы в зависимости от уплотняющего воздействия колесных тракторов // Земледелие. – 2015. - № 3. – С. 24-25.

29 Окунев Г.А., Астафьев В.Л., Кузнецов Н.А. Снижение последействия машинных агрегатов на почву // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – № 12. – С. 43-47.

30 Почвоведение. Учебник для университетов в 2 ч. Ч. 1. Почва и почвообразование / под ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. – М.: Высшая школа, 1988. – 400 с.

31 Стратегия и тактика проведения уборки урожая и осенне-полевых работ в 2018 году в Акмолинской области. Рекомендации. – Шортанды-1: НПЦЗХ им. А.И. Бараева, 2018. – 34 с.

32 Система технологий и машин для возделывания сельскохозяйственных культур в условиях северного Казахстана. Рекомендации – Костанай: Костанайполиграфия, 2008. – 176 с.

33 Переуплотнение пахотных почв: причины, следствия, пути уменьшения. – М: Наука, 1987. – 215 с.

34 Алеев Б.А. Технологии и техника для глубокого рыхления переуплотненных почв // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2005. - № 2. – С. 7-10.

35 Улексин В.А. Мостовое земледелие. – Днепропетровск: Пороги, 2008. – 224 с.

36 Чернышев Н.И., Сысоев Е.О. Мостовая система как основа реализации точечного земледелия // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2011. – № 1-1(5). – С. 113-118.

37 Султанова А. Мостовое земледелие // Наука, образование и экспериментальное проектирование. Сб. докладов международной научно-практической конференции. – Москва, 2017. – С. 40-41.

38 Жарвин Н.А. Мостовое земледелие как резерв агрокультуры для севера // Энергия, экономика, техника, экология. – 2006. – № 3. – С. 56-59.

39 Панов И.М., Ветохин В.И. Физические основы механики почв. – К.: Феникс, 2008. – 266 с.

40 Павлюк А.С., Сотников Д.В. Методы снижения тягового сопротивления почвообрабатывающих машин // Ползуновский вестник. – 2014. - № 4. – С. 8-13.

41 А.С. 977618 СССР. Устройство для рыхления мерзлых и прочных грунтов / В.И. Баловнев, Л.А. Хмара, С.В. Шатов и др.; опубл. 30.11.82.

42 А.С. 1046436 СССР. Рыхлитель / А.И. Батулов, В.В. Карпов, А.М. Сапожников и др.; опубл. 01.10.83.

43 Баловнев В.И. Дорожно-строительные машины с рабочими органами интенсификацирующего действия. - М.: Машиностроение, 1981. - 224 с.

44 Qaisrani R., JianqiaoL. Application of Bio-Inspired Surfaces in Reducing Adhesion to the Surfaces of Soil-Engaging Components of Agricultural and Earth-Moving Machinery //BiD-Inspired Surfaces and Applications. – 2016. – С. 485-553.

45 Дерепаскин А.И,, Куваев А.Н. Классификация рабочих органов для механической обработки почвы //Многопрофильный научный журнал «3i интеллект, идея, инновация». – 2020. - № 2 – С.73-81.

46 Яцук Е.П. Ротационные почвообрабатывающие машины. – М.: Машиностроение, 1971. – 256 с.

47 Бледных В.В. Устройство, расчет и проектирование почвообрабатывающих орудий. Учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ФГБОУ ВПО «Челябинская ГАА», 2010. – 203 с.

48 Акимов А.П. Кинематика и динамика ротационных почвообрабатывающих машин и агрегатов. – Чебоксары, 2017. – 248 с.

49 Маматов Ф.М., Мирзаев Б.С., Буранова Ш.У. и др. Механико-технологические основы орудий для безотвальной противоэрозионной обработки почвы. – Ташкент: Voris-nashpiyot, 2015. – 126 с.

50 Пат. 2367132 РФ. Способ плоскорезной полосной разноглубинной зяблевой обработки почвы / В.Н. Слесарев., А.Н. Власенко; опубл. 05.06.2007.

51 Пат. 2453091 РФ. Способ обработки почвы / А.А. Конищев; опубл. 20.06.2012. Бюл. № 17.

52 Ковалев Н.Г., Хайлис Г.А, Ковалев М.М. Сельскохозяйственные материалы (виды, состав, свойства). – М.: ИК «Родник», 1998. – 208 с.

53 Союнов А.С. Обоснование параметров дисковых рабочих органов почвообрабатывающих орудий: автореф. … канд. техн. наук: 05.20.01. - Новосибирск: СибИМЭ, 2011. – 19 с.

54 Технологические требования к комплексу машин для производства зерновых культур / под ред. А.И. Еськова. – Шортанды: КНИИЗХ им. А.И. Бараева, 1995. – 25 с.

55 Система критериев качества, надежности, экономической эффективности сельскохозяйственной техники / под ред. А.Т. Табашникова. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010 . – 188 с.

56 Труфанов В.В. Глубокое чизелевание почвы. – М.: Агропромиздат, 1989. – 140 с.

57 Ветохин В.И. Обоснование формы и параметров рыхлительных рабочих органов с целью снижения энергозатрат на обработку почвы: дис. …канд. техн. наук: 05.20.01. – М.: НПО «ВИСХОМ», 1991. – 330 с.

58 Синеоков Г.Н. Проектирование почвообрабатывающих машин. – М.: Машиностроение, 1965. – 311 с.

59 Буянкин Н.И., Краснопёров А.Г. Основная обработка почвы в условиях засушливого земледелия // Достижения науки и техники АПК. – 2006. - № 6. – С. 39-42.

60 Морковкин Г.Г., Жандарова С.В., Аверьянова И.П. Влияние способов основной обработки почвы и оптимизированных норм минеральных удобрений на мобилизацию подвижных элементов минерального питания растений и урожайность зерна яровой пшеницы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. - № 7(105). – С. 29-34.

61 Заболотских В.В., Власенко Н.Г. Влияние обработки почвы на урожайность гороха в условиях засушливой степи северного Казахстана // Земледелие. – 2012. - № 6. – С. 31-33.

62 Слесарёв В.Н. Агрофизические основы совершенствования основной обработки чернозёмов в западной Сибири: дис. … док.сх. Наук: 06.01.01. – Омск: НПО «Колос», 1983. – 418 с.

63 Астафьев В.Л. Агроприёмы и техника для освоения влагосберегающих технологий в условиях северного Казахстана // Пути реализации федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы: матер. междунар. науч.-практич. конф., посв. 75-летию Курганской обл.. – Курган: ФГБОУ «КГСХА», 2018. – С. 1123-1133.

64 Методические рекомендации по щелеваню старовозрастных многолетних трав / К.Р. Жуламанов, М.М, Кольцун, К.К. Вервейн и др. – Кустанай: Облтип, 1986. – 15 с.

65 Грибановский А.П. Теоретические и экспериментальные основы разработки орудий для плоскорезной обработки почв, подверженных ветровой эрозии: дис. ... док. техн. наук: 05.20.01. – Алма-Ата, 1978. – 402 с.

66 Глейберзон Д.А., Кузнецова М.К., Малев М.К. и др. Система машин для обработки эрозионных почв. – Алма-Ата: Кайнар, 1966. – 104 с.

67 Горячкин В.П. Собрание сочинений в 3-х томах. – М.: Колос, 1965. – 720, 459, 384 с.

68 Желигловский В.А. Элементы теории почвообрабатывающих машин и механической технологии сельскохозяйственных материалов. – Тбилиси: Изд-во Груз.с.-х. ин-та, 1960. – 146 с.

69 Лучинский Н.Д. Механика как фундамент инженерных знаний. – М.: Колос, 1982. – 232 с.

70 Василенко П.М., Бабий П.Т. Культиваторы (конструкция, теория и расчет). – Киев: Изд-во Укр. акад. с.-х. наук, 1961. - 239 с.

71 Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины: Теория, расчет, проектирование и испытание. – Москва, Ленинград: Сельхозгиз, 1955. – 764 с.

72 Пигулевский М.Х. Основы и методы изучения физико-механических свойств почвы. – Ленинград: ЛОВИУАА ВАСХНИЛ, 1936. – 145 с.

73 Зеленин А.Н. Основы разрушения грунтов механическими способами. – М.: Машиностроение, 1968. – 375 с.

74 Ветров Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами. – М.: Машиностроение, 1971. – 360 с.

75 Синеоков Г.Н. Сопротивления почвы, возникающие при ее обработке: авторефер. …док.техн. наук: 05.20.01. – М., 1954. – 14 с.

76 Мацепуро М.Е. Исследование закономерностей сопротивления почв и грунтов: дис. …канд. техн. наук: 05.20.01. – М., 1968. – 42 с.

77 Лукашин Ю.В. Деформации в почве при ее обработке: автореф. … канд. техн. наук: 05.20.01. – Волгоград, 1963. – 22 с.

78 Виноградов В.И. Сопротивление рабочих органов лемешного плуга и методы снижения энергоемкости пахоты: автореф. … док.техн. наук: 05.20.01. – М., 1969. - 63 с.

79 Новиков Ю.Ф., Чебан А.И. О деформациях, возникающих в почве под действием клина // Сб. «Исследование рабочих органов с.-х. машин». – Ростов-на-Дону, 1963.

80 Кострицын А.К. Основные закономерности сопротивления почвы деформации и разрушению и их использование для обоснования типа и параметров почвообрабатывающих противоэрозионных рабочих органов: автореф. … док.техн. наук: 05.20.01. – М., 1986. – 46 с.

81 Ержанов А.Е. Исследование параметров плоскорезов для поверхностной обработки почв, подверженных ветровой эрозии: автореф. …канд. техн. наук: 05.20.01. – Алма-Ата, 1964. - 19 с.

82 Воронин А.И. Исследование работы плоскорезов-рыхлителей в Поволжье: автореф. … канд. техн. наук: 05.20.01. – Саратов, 1965. - 27 с.

83 Бидлингмайер Р.В. Исследование динамики прицепного культиватора-плоскореза в продольно-вертикальной плоскости и обоснование основных параметров его схемы: автореф. … канд. техн. наук. – Алма-Ата, 1974. - 22 с.

84 Хлызов Н.Т. Система настройки и регулирования технологического процесса широкозахватного плоскореза: дис. … канд. техн. наук: 05.20.01. – Челябинск, 1983. – 211 с.

85 Щербаков Н.В. Обоснование параметров культиватора-плоскореза по клиновой схеме для энергонасыщенных тракторов: дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01. - Челябинск, 1987. - 187 с.

86 Рахимов Р.С. Повышение эффективности технологического процесса работы противоэрозионных почвообрабатывающих машин: автореф. … док.техн. наук: 05.20.01. – Челябинск, 1990. – 42.

87 Попов И.В. Разработка и обоснование параметров машины для плоскорезной обработки почвы с одновременным разуплотнением подпахотного слоя: автореф. … канд. техн. наук: 05.20.01. – Оренбург, 1996. - 22 с.

88 Файрушин Д.З. Обоснование параметров универсальных противоэрозионных почвообрабатывающих машин: автореф. … канд. техн. наук: 05.20.01. – Челябинск, 2004. - 24 с.

89 Швец А.В. Повышение эффективности безотвальной обработки почвы путем применения приставки-рыхлителя: автореф. … канд. техн. наук: 05.20.01. – Воронеж, 2005. - 20 с.

90 Татаров Н.Т. Совершенствование технологии основной обработки почвы и обоснование конструктивных параметров плуга-плоскореза: автореф. … канд. техн. наук: 05.20.01. – Новосибирск, 2000. - 18 с.

91 Тумурхонов В.В. Разработка почвозащитной технологии и технических средств для возделывания зерновых культур в Республике Бурятия: автореф. … канд. техн. нау: 05.20.01. – Барнаул, 2006. - 42 с.

92 Савельев Ю.А. Разработка способов и средств механизации снижения уплотнения почвы от движителей сельскохозяйственных тракторов и машин: автореф. … канд. техн. наук: 05.20.01. – Пенза, 2009. - 38 с.

93 Бойкова Е.В. Разработка энергосберегающего технологического процесса основной обработки почвы и плуга общего назначения: автореф. … канд. техн. наук: 05.20.01. – Саратов, 2010. - 23 с.

94 Гаюпов Х.Э. Технологическое обоснование параметров и исследование устойчивости плоскореза-щелевателя: дис. … канд. техн. наук: 05.20.01. – Челябинск, 1978. - 180 с.

95 Капов С.Н. Механико-технологические основы разработки энергосберегающих почвообрабатывающих машин : автореф. … док.техн. наук: 05.20.01. – Челябинск, 1999. – 36 с.

96 Рустембаев А.Б. Разработка и обоснование параметров рабочего органа при ярусном внесении минеральных удобрений: дис. … док. PhD: 6D060600. - Нур-Султан, 2019. - 128 с.

97 Пат. US9192090B2 США.Soil working, sowing and fertilizing implement / Allan J. Yeomans; опубл.24.11.2015. - 10 с.

98 Дерепаскин А.И., Куваев А.Н. Производственные испытания рабочих органов для внесения основной дозы минеральных удобрений одновременно с основной обработкой почвы // АПК России. – 2015. – № 72/1. - С. 32-35.

99 Максимов И.И. Прогноз эрозионных процессов, техника и технология для обработки склоновых земель: автореф. … док.техн. наук:5.20.01. – Москва, 1996. - 38 с.

100 Кязимов А.Х. Безотвальная обработка почвы при возделывании сельскохозяйственных культур на склонах: автореф. … канд. техн. наук: 05.20.01. – Тбилиси, 1990. – 38 с.

101 Орешкин М.В. Совершенствование технологического процесса обработки черноземных почв почвозащитными орудиями: автореф. … канд. с.-х. наук: 05.20.01. – Воронеж, 2004. - 20 с.

102 Рахимов И.Р. Совершенствование рабочих органов машин для основной обработки почвы на основе моделирования процесса взаимодействия клина с почвой: автореф.... канд. технических наук: 05.20.01. – Челябинск, 2006. - 30 с.

103 Храмцов С.С. Разработка конструктивно-технологической схемы энергосберегающего почвозащитного орудия для основной и поверхностной обработок почвы: автореф. ... канд. техн. наук: 05.20.01. – Киров, 2009. - 24 с.

104 Хмура А.Н. Совершенствование конструкции рабочего органа плосксореза-глубокорыхлителя: автореф. ... канд. техн. наук: 05.20.01. - Оренбург, 2012. - 23 с.

105 Пат. 2449652 РФ. Рабочий орган для безотвальной обработки почвы / М.М.Константинов, Б.Н. Нуралин, А.Н. Хмура и др.; опубл. 20.12.2011.

106 Пат. 2214703 РФ. Рабочий орган для безотвальной обработки почвы / В.В. Покровский, В.Н. Меньшиков, В.М. Серебряков и др.; опубл. 27.10.2003.

107 Пат. 53100 РФ. Рабочий орган плоскореза-рыхлителя / С.В. Стоян, С.Г. Мударисов, Р.С. Рахимов и др.; опубл. 10.05.2006.

108 Иванов Н.В. Исследование и обоснование параметров рабочего органа культиватора-плоскореза для основной обработки почвы в зоне южного Урала: дис. … канд. техн. наук: 05.20.01. – Челябинск, 1979. - 250 с.

109 Бабицкий Л.Ф. Исследование и обоснование геометрических параметров зубчатых рабочих органов культиваторов для противоэрозионной обработки почв: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. – Челябинск, 1979. - 20 с.

110 Кушнарев А. С. Механико-технологические основы процесса воздействия рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий: дис. ... док.техн.: 05.20.01. Мелитополь, 1980. - 329 с.

111Свечников П.Г. Обоснование параметров плоскорежущей лапы с переменным углом резания для глубокого рыхления почвы: дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01. - Челябинск, 1984. - 225 c.

112 Бойков В.М. Механико-технологическое обоснование эффективных способов и технических средств основной обработки почвы: автореф. ... док.техн. наук: 05.20.01. - Саратов, 1998. - 35 с.

113 Петриченко С.В. Обоснование параметров рабочих органов культиватора-плоскореза для основной обработки пересушенных почв: автореф. ... канд. техн. наук: 05.20.01. - Мелитополь, 1997. - 27 с.

114 Свечников П.Г. Модернизация почвообрабатывающих рабочих органов на основе исследования процесса их взаимодействия с почвой: автореф. ... док.техн. наук: 05.20.01. - Челябинск, 2013. - 43 с.

115 Протокол испытаний № 01-57-18. Плоскорез-глубокорыхлитель прицепной ПГП-7 / Алтайская государственная зональная машиноиспытательная станция. - Поспелиха, 2018.

116 Протокол испытаний № 12-18-2019. Плоскорез-глубокорыхлитель ПГП-7Т / Сибирская государственная зональная машиноиспытательная станция. - Сосновское, 2019.

117 Дерепаскин А.И., Терпиловский А.Ю. Эффективность применения и пути совершенствования комплекса машин для мелиоративной обработки солонцовых почв Казахстана // Совершенствование почвообрабатывающих противоэрозионных орудий и машин для освоения солонцовых почв: сб. науч. трудов ВО ВАСХНИЛ, 1987. - С. 49-61.

118 Кулебакин П.Г. Научные основы технологии и средств механизации коренного улучшения солонцовых сенокосов и пастбищ Барабинской низменности: автореф. ... док.с.-х. наук: 05.20.01. - Новосибирск, 1975. - 42 с.

119 Пыльник П.А. Исследование параметров рабочих органов рыхлителя для обработки солонцовых почв Барабы: автореф. ... канд. техн. наук: 05.20.01. - Новосибирск, 1971, - 26 с.

120 Беллер В.Х. Исследование и обоснование параметров плоскорезно-роторного рыхлителя солонцов : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01. - Челябинск, 1981. - 215 с.

121 Разработать технологии и средства механизации для обработки комплексов целинных солонцовых почв: отчет о НИР (заключительный) / НПО «Целинсельхозмеханизация». Восточное отделение ВАСХНИЛ: рук. Терпиловский А.Ю.; испол. Дерепаскин А.И., Кригер Н.А., Астафьев В.Л. и др. - Кустанай, 1985. – 143 с. - № ГР01850010227. – Инв. № 0286.0098428.

122 Сакара Д.В. Обоснование параметров рабочего органа комбинированного рыхлителя солонцов: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. - Челябинск, 1983. - 183 с.

123 Бенкендорф А.Е. Обоснование параметров рыхлителя для основной обработки мелиорированных солонцов: автореф. ... канд. техн. наук: 05.20.01. - Челябинск, 1990. - 18 с.

124 Нурушев С.З. Параметры кобминированной фрезерной машины для поверхностной обработки солонцовых почв: автореф. ... канд. техн. наук: 05.20.01. - Новосибирск, 1990. - 18 с.

125 Ягупов М.К. Техника на освоении солонцов // Новые технологии и машины для обработки солонцов: науч.-техн. бюл. Сиб. отделения ВАСХНИЛ. – 1981. – Вып. 29. – С. 42-45.

126 Ракитин С.А. Образование и разрушение почвенной корки на солонцах // Совершенствование почвообрабатывающих противоэрозионных орудий и машин для освоения солонцовых почв: сб. науч. трудов Восточного отделения ВАСХНИЛ, 1987, - С. 80-87.

127 Стародубцева Л.Я., Салпагарова И.А. Почвенно-мелиоративная оценка эффективности работы орудий для глубокой обработки солонцов // Совершенствование почвообрабатывающей техники агропромышленного комплекса целинного земледелия: сб. науч. трудов. - Алма-Ата: изд. Восточного отделения ВАСХНИЛ, 1989. - С. 15-26.

128 Вервейн К.К., Жуламанов К.Р. Обоснование конструктивно-технологической схемы комбинированного орудия для послойного обработки почвы // Совершенствование почвообрабатывающей техники агропромышленного комплекса целинного земледелия: сб. науч. трудов. - Алма-Ата: изд. Восточного отделения ВАСХНИЛ, 1989. - С. 26-30.

129 Дерепаскин А.И. Разработка, обоснование и внедрение комплекса машин для обработки солонцовых почв: дис. ... док.техн. наук: 05.20.01. - Алматы, 2009. - 342 с.

130 Бенкендорв А.Е., Дерепаскин А.И. Результаты исследования работы рыхлителя при обработке солонцов в мелиоративный период // Новые технологии и машины для обработки солонцов:науч.-техн. бюл. Сиб. отделения ВАСХНИЛ. – 1981. – Вып. 2-3. – 48 с.

131 Бенкендорф А.Е. Исследования рабочих органов для рыхления солонцов в мелиоративный период // Совершенствование почвообрабатывающей техники агропромышленного комплекса целинного земледелия: сб. науч. трудов. ВО ВАСХНИЛ - Алма-Ата: изд. Восточного отделения ВАСХНИЛ, 1989. - С. 30-38.

132 Куваев А.Н., Токарев И.В. Методика определения максимально допустимой скорости движения орудия РСП // Вестник Курганской ГСХА. – 2020. - № 1. – С. 66-69.

133 Бурченко П.Н. Механико-технологические основы почвообрабатывающих машин нового поколения. – М.: ВИМ, 2002 – 212 с.

134 Плишкин А.А., Боштейн Э.В. Комплексная механизация работ по защите почв от ветровой эрозии. – М.: Колос, 1976. – 184 с.

135 Ержанов А.Е. Исследование параметров плоскорезов для поверхностной обработки почв, подверженных ветровой эрозии: автореф. … канд. техн. наук: 05.20.01. – Алма-Ата, 1964. – 19 с.

136 Грищенко Н.В. Изыскание и исследование рабочих органов культиваторов-плоскорезов для работы на высоких скоростях движения: дис. … канд. техн. наук: 05.20.01. – М., 1973. – 201 с.

137 Лурье А.Л., Любимов А.И. Широкозахватные почвообрабатывающие машины. – М.: Машиностроение, 1981. – 270 с.

138 Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан: статистические сборники по отрасли «Сельское, лесное и рыбное хозяйство» за 2019 год // [www.stat.gov.kz/edition/publication/collection](https://stat.gov.kz/edition/publication/collection).

139 Применение комплексов машин и оборудования при возделывании сельскохозяйственных культур в системе точного земледелия в условиях Акмолинской области: рекомендации. – Костанай: NewLineMedia, 2020. – 64 с.

140 Техническое обеспечение технологий возделывания сельскохозяйственных культур с использованием систем точного земледелия в условиях Северо-Казахстанской области: рекомендации. – Костанай: NewLineMedia, 2020. – 44 с.

141 Рекомендации по применению комплексов машин и оборудования для комплексной механизации возделывания культур в системе точного земледелия для различного уровня оснащенности хозяйств в Костанайской области: рекомендации. – Костанай: NewLineMedia, 2020. – 26 с.

142 Эйсмонт Н.Г., Даньшина В.В,, Бирюков С.В. Теоретические основы и практика научных исследований. – Омск: ОмГТУ, 2018. – 98 с.

143 Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов. М.: Изд-во литературы по строительству, 1971. - 369 с.

144 Пьянков С.А., Азимов З.К. Механика грунтов. - Ульяновск: УлГТУ, 2014. - 169 с.

145 Каргин В.Р., Каргин Б.В. Механика сплошных сред. Ч.1. - Самара: СГАУ, 2015. - 76 с.

146 Беляков Н.А., Карасев М.А., Трушко В.Л. Механика сплошной среды. - Санкт-Петербург: СПГУ, 2019. - 114 с.

147 Мударисов С.Г. Повышение качества обработки почвы путем совершенствования рабочих органов машин на основе моделирования технологического процесса: дис. … док.техн. наук: 05.20.01. - Челябинск, 2007. - 351 с.

148 Калинин А.Б. Критерии и методы оценки выполнения агротехнических требований к параметрам почвенного состояния в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур на основе статистической интерпретации реологической модели почвы и устройств контроля качества ее обработки : автореферат дис. ... док.техн. наук: 05.20.01. - Санкт-Петербург, 2000. - 44 с.

149 Мамбеталин К.Т. Механико-технологические основы снижения энергоемкости обработки почвы: автореф. ... док.техн. наук: 05.20.01. - Новосибирск, 2011. - 38 с.

150 Пономарев А.Б., Захаров А.В,, Золотозубов Д.Г. и др. Основание и фундаменты. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015. – 318 с.

151 Механизация защиты почв от водной эрозии в нечерноземной полосе / под ред. А.Т. Вагина. – Л.: Колос, 1977. – 272 с.

152 Дерепаскин А.И., Куваев А.Н., Токарев И.В. Математическая модель для определения конструктивной массы почвообрабатывающего орудия // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2022. – Т. 16 № 1. – С. 27-33.

153 Institute of agriculture and natural resources. Nebraska Tractor Test Laboratory //[www. tractortestlab.unl.edu/testreports](https://tractortestlab.unl.edu/testreports).

154 Cardei Petru, Mihai Gabriel Matache. Optimum working conditions for variable width ploughs. // www.researchgate.net/ publication /318983573\_Optimum\_ working\_conditions\_for\_variable\_width\_ploughs.

155 Хафизов К.А., Хафизов Р.Н. Энергетический метод оптимизации основных параметров тракторов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2015. – Т.10 № 1(35). – С. 75-81.

156 Хафизов К.А., Хафизов Р.Н. Результаты многофакторного эксперимента по определению зависимости максимального давления колес трактора на почву от параметров трактора и физико-механических свойств почвы. Статистический анализ // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2016. – Т.11 № 4 (42). – С. 94-98.

157 Nurmiev A., Khafizov C., Khafizov R. идр. Optimization of main parameters of tractor working with soil-processing implement // 17th international scientific conference engineering for rural development: сб. трудовконференции. - Jelgava, 2018. – C. 161-167.

158 Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных. – М.: Колос, 1973. – 197 с.

159 Куваев А.Н. Определение удельного сопротивления почвы при глубокой безотвальной обработке в условиях северного Казахстана // Тракторы и сельхозмашины. – 2020. - № 4. – С. 45-52.

160 Macmillan, R. H. The mechanics of tractor-implement performance: theory and worked examples. – Melbourne, 2002. – 34 с.

161 Гуськов, В.В., Велев, Н.Н., Атаманов, Ю.Е. и др. Тракторы. Теория. – М.: Машиностроение, 1988. – 374 с.

162 Kuvaev A., Derepaskin A., Tokarev I. Substantiation of the working width of the tillage implement // Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae brunensis. – 2021. - № 1. – С. 21-32.

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

164 ГОСТ 33736-2016. Техника сельскохозяйственная. Машины для глубокой обработки почвы Методы испытаний. – Введ. 2018-01-01. – М.: Стандартинформ, 2017. – 35 с.

165 ГОСТ 20915-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. – Введ. 2013-01-01. – М.: Стандартинформ, 2013. – 27 с.

166 ГОСТ Р 52777-2007. Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки. – Введ. 2007-11-13. – М.: Стандартинформ, 2007. – 11 с.

167 Чумаков, В.Г. Технологические основы механической обработки почвы: методические указания для выполнения лабораторно-практических занятий аспирантов. – Курган: КГСХА, 2017. – 41 с.

168 ГОСТ 26025-83. Машины и тракторы сельскохозяйственные и лесные. Методы измерения конструктивных параметров. – Введ. 1983-12-19. – М.: Гос. Комитет СССР по стандартам, 1983. – 8 с.

169 ГОСТ 24055-88. Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки.Общие положения. – Введ. 1989-01-01. – М.: Гос. Комитет СССР по стандартам, 1988. – 16 с.

170 Грановский В.А., Сирая Т.Н. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.

171 Кубланов М.С. Математическое моделирование. Методология и методы разработки математических моделей механических систем и процессов. Ч.1. – М.: МГТУ ГА, 2004. – 108 с.

172 ГОСТ Р 8.736-2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. – Введ. 2011 -12-13. – М.: Стандартинформ, 2011. – 23 с.

173 Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576 с.

174 Долинский Е.Ф. Обработка результатов измерений. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 192 с.

175 Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.

176 Рабинович С.Г. Погрешности измерений. – Л.: Энергия, 1978. – 262 с.

177 Высоцкий А.А. Динамометрирование сельскохозяйственных машин. – М.: Машиностроение, 1968. – 290 с.

178 СТ РК ГОСТ Р 53056-2011. Техника сельскохозяйственная. Метод экономической оценки. Введ. 2011-01-07. – Астана: Госстандарт, 2011. – 64 с.

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

# Результаты тензометрирования лабораторно-полевой установки с вариантами двугранных клиньев на различных скоростных режимах

*Методика проведения исследований*

Исходные данные для дальнейших расчетов – значение результирующей тягового сопротивления ЛПУ(, Н) при различных углах и различной скорости движения (*v*, м/с), были получены в результате тензометрирования лабораторно-полевой установки (далее ЛПУ) с вариантами двугранных клиньев в полевых условиях. Методика проведения тензометрирования представлена в п.п. 3.4.2.

*Результаты исследований.*

Значения результирующей тягового сопротивления ЛПУ(,Н) для вариантов двугранных клиньев с различным углом установки лезвия ко дну борозды ( , град.) на различных скоростях движения (*v*, м/с), полученные в результате тензометрирования ЛПУ, представлены в таблице А.1.

Таблица А.1 – Результаты тензометрирования вариантов двугранных

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| , град. | *v*, м/с | , кН | , град. | *v*, м/с | , кН |
| 10 | 1,7 | 3,4 | 30 | 1,7 | 3,77 |
| 4,3 | 4,1 |
| 5,1 | 4,4 |
| 2,0 | 3,5 | 2,0 | 3,9 |
| 4,4 | 4,4 |
| 5,2 | 4,8 |
| 2,3 | 3,5 | 2,3 | 4,3 |
| 4,2 | 4,9 |
| 5,1 | 5,1 |
| 2,9 | 3,8 | 2,9 | 4,5 |
| 4,0 | 5,3 |
| 5,6 | 5,4 |
| 20 | 1,7 | 3,0 | 40 | 1,7 | 4,1 |
| 3,6 | 4,5 |
| 4,3 | 4,9 |
| 2,0 | 3,4 | 2,0 | 4,4 |
| 3,9 | 4,8 |
| 4,2 | 5,2 |
| 2,3 | 3,9 | 2,3 | 4,7 |
| 4,1 | 5,2 |
| 4,4 | 5,6 |
| 2,9 | 4,2 | 2,9 | 5,1 |
| 4,5 | 5,6 |
| 4,8 | 5,1 |

Среднее значение плотности почвы при проведении тензометрирования составило = 1330 кг/м3.

# ПРИЛОЖЕНИЕ Б

# Определение площадей зон интерференции деформации почвенного слоя

*Методика проведения исследований.*

Площадь определялась в несколько этапов.

1. Был произведен расчет напряжений, возникающих в различных точках рассматриваемого почвенного слоя, под воздействием консольной части долота в соответствии с формулой (2.26):

2. На основании полученных расчетных данных были построены эпюры распределения напряжений в 3-х зонах:

- зона разрушения почвенного слоя (распределения предельных напряжений), для которой выполняется условие ;

- зона повышенной деформации почвенного слоя, для которой выполняется условие ;

- зона частичной деформации почвенного слоя, для которой выполняется условие

3. Используя метод наименьших квадратов, было получено уравнение регрессии вида y=f(x), аппроксимирующее кривую, ограничивающую площади зоны разрушения почвенного слоя - и зоны частичной деформации почвенного слоя - и

4. Используя определенный интеграл, была определена соответственно площадь и и :

|  |  |
| --- | --- |
|  | (Б.1) |
|  | (Б.2) |
|  | (Б.3) |

где – , и - уравнение регрессии аппроксимирующие кривые, ограничивающие соответственно площади зоны разрушения - , повышенной деформации и частичной деформации почвенного слоя.

Площадь в этом случае определялась как сумма:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (Б.4) |

*Результаты исследований.*

Результаты расчетов напряжений, возникающих в различных точках рассматриваемого почвенного слоя, под воздействием консольной части долота в соответствии с формулой (2.26) представлены в таблицах Б.1-Б.6.

Ширина долота принята равной = 0,06 м. Значение (Н/м3) принято на основании результатов исследований, представленных в Приложении А и таблице 2.2.

Построенные эпюры напряжений для долот с различной длиной консольной части представлены на рисунках Б.1 и Б.2.

Значения в поперечно-вертикальной плоскости для долот с различной длиной консольной части с учетом формулы (2.2) представлены в таблице Б.7.

Таблица Б.1 -Значение напряжений (, Па), возникающих в различных точках почвенного слоя(R, м и , град.), под воздействием консольной части долота (, м) при = 0,05 м ( ≈ 0,02 м)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| R, м | , град. | , Па | R, м | , град. | , Па | R, м | , град. | , Па |
| 0,02 | 0 | 704 613 | 0,04 | 0 | 176 153 | 0,06 | 0 | 78 290 |
| 5 | 701 936 | 5 | 175 484 | 5 | 77 993 |
| 10 | 693 903 | 10 | 173 476 | 10 | 77 100 |
| 15 | 680 586 | 15 | 170 146 | 15 | 75 621 |
| 20 | 662 125 | 20 | 165 531 | 20 | 73 569 |
| 25 | 638 591 | 25 | 159 648 | 25 | 70 955 |
| 30 | 610 195 | 30 | 152 549 | 30 | 67 799 |
| 35 | 577 219 | 35 | 144 305 | 35 | 64 135 |
| 40 | 539 734 | 40 | 134 933 | 40 | 59 970 |
| 45 | 498 232 | 45 | 124 558 | 45 | 55 359 |
| 50 | 452 925 | 50 | 113 231 | 50 | 50 325 |
| 55 | 404 166 | 55 | 101 042 | 55 | 44 907 |
| 60 | 352 307 | 60 | 88 077 | 60 | 39 145 |
| 65 | 297 770 | 65 | 74 442 | 65 | 33 086 |
| 70 | 240 978 | 70 | 60 244 | 70 | 26 775 |
| 75 | 182 354 | 75 | 45 588 | 75 | 20 262 |
| 80 | 122 321 | 80 | 30 580 | 80 | 13 591 |
| 85 | 61 442 | 85 | 15 361 | 85 | 6 827 |
| 90 | 0 | 90 | 0 | 90 | 0 |
| 0,08 | 0 | 44 038 | 0,10 | 0 | 28 185 | 0,12 | 0 | 19 573 |
| 5 | 43 871 | 5 | 28 077 | 5 | 19 498 |
| 10 | 43 369 | 10 | 27 756 | 10 | 19 275 |
| 15 | 42 537 | 15 | 27 223 | 15 | 18 905 |
| 20 | 41 383 | 20 | 26 485 | 20 | 18 392 |
| 25 | 39 912 | 25 | 25 544 | 25 | 17 739 |
| 30 | 38 137 | 30 | 24 408 | 30 | 16 950 |
| 35 | 36 076 | 35 | 23 089 | 35 | 16 034 |
| 40 | 33 733 | 40 | 21 589 | 40 | 14 993 |
| 45 | 31 139 | 45 | 19 929 | 45 | 13 840 |
| 50 | 28 308 | 50 | 18 117 | 50 | 12 581 |
| 55 | 25 260 | 55 | 16 167 | 55 | 11 227 |
| 60 | 22 019 | 60 | 14 092 | 60 | 9 786 |
| 65 | 18 611 | 65 | 11 911 | 65 | 8 271 |
| 70 | 15 061 | 70 | 9 639 | 70 | 6 694 |
| 75 | 11 397 | 75 | 7 294 | 75 | 5 065 |
| 80 | 7 645 | 80 | 4 893 | 80 | 3 398 |
| 85 | 3 840 | 85 | 2 458 | 85 | 1 707 |
| 90 | 0 | 90 | 0 | 90 | 0 |

Таблица Б.2 -Значение напряжений (, Па), возникающих в различных точках почвенного слоя(R, м и , град.), под воздействием консольной части долота (, м) при = 0,10 м ( ≈ 0,04 м)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| R, м | , град. | , Па | R, м | , град. | , Па | R, м | , град. | , Па |
| 0,05 | 0 | 239 568 | 0,07 | 0 | 122 229 | 0,09 | 0 | 73 941 |
| 5 | 238 658 | 5 | 121 764 | 5 | 73 660 |
| 10 | 235 927 | 10 | 120 371 | 10 | 72 817 |
| 15 | 231 399 | 15 | 118 061 | 15 | 71 420 |
| 20 | 225 123 | 20 | 114 858 | 20 | 69 482 |
| 25 | 217 121 | 25 | 110 776 | 25 | 67 013 |
| 30 | 207 466 | 30 | 105 850 | 30 | 64 033 |
| 35 | 196 254 | 35 | 100 130 | 35 | 60 572 |
| 40 | 183 509 | 40 | 93 627 | 40 | 56 639 |
| 45 | 169 399 | 45 | 86 428 | 45 | 52 284 |
| 50 | 153 995 | 50 | 78 569 | 50 | 47 529 |
| 55 | 137 416 | 55 | 70 110 | 55 | 42 412 |
| 60 | 119 784 | 60 | 61 114 | 60 | 36 970 |
| 65 | 101 242 | 65 | 51 654 | 65 | 31 247 |
| 70 | 81 932 | 70 | 41 802 | 70 | 25 288 |
| 75 | 62 000 | 75 | 31 633 | 75 | 19 136 |
| 80 | 41 589 | 80 | 21 219 | 80 | 12 836 |
| 85 | 20 890 | 85 | 10 658 | 85 | 6 448 |
| 90 | 0 | 90 | 0 | 90 | 0 |
| 0,11 | 0 | 49 498 | 0,13 | 0 | 35 439 | 0,16 | 0 | 23 395 |
| 5 | 49 310 | 5 | 35 304 | 5 | 23 306 |
| 10 | 48 745 | 10 | 34 900 | 10 | 23 040 |
| 15 | 47 810 | 15 | 34 231 | 15 | 22 598 |
| 20 | 46 513 | 20 | 33 302 | 20 | 21 985 |
| 25 | 44 860 | 25 | 32 118 | 25 | 21 203 |
| 30 | 42 865 | 30 | 30 690 | 30 | 20 260 |
| 35 | 40 548 | 35 | 29 032 | 35 | 19 165 |
| 40 | 37 915 | 40 | 27 146 | 40 | 17 921 |
| 45 | 35 000 | 45 | 25 059 | 45 | 16 543 |
| 50 | 31 817 | 50 | 22 780 | 50 | 15 039 |
| 55 | 28 392 | 55 | 20 328 | 55 | 13 420 |
| 60 | 24 749 | 60 | 17 720 | 60 | 11 698 |
| 65 | 20 918 | 65 | 14 977 | 65 | 9 887 |
| 70 | 16 928 | 70 | 12 120 | 70 | 8 001 |
| 75 | 12 810 | 75 | 9 172 | 75 | 6 055 |
| 80 | 8 593 | 80 | 6 152 | 80 | 4 061 |
| 85 | 4 316 | 85 | 3 090 | 85 | 2 040 |
| 90 | 0 | 90 | 0 | 90 | 0 |

Таблица Б.3 -Значение напряжений (, Па), возникающих в различных точках почвенного слоя(R, м и , град.), под воздействием консольной части долота (, м) при = 0,15 м ( ≈ 0,07 м)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| R, м | , град. | , Па | R, м | , град. | , Па | R, м | , град. | , Па |
| 0,07 | 0 | 232 774 | 0,10 | 0 | 114 059 | 0,13 | 0 | 67 491 |
| 5 | 231 889 | 5 | 113 626 | 5 | 67 234 |
| 10 | 229 236 | 10 | 112 326 | 10 | 66 465 |
| 15 | 224 836 | 15 | 110 170 | 15 | 65 189 |
| 20 | 218 738 | 20 | 107 181 | 20 | 63 421 |
| 25 | 210 963 | 25 | 103 372 | 25 | 61 167 |
| 30 | 201 582 | 30 | 98 775 | 30 | 58 447 |
| 35 | 190 688 | 35 | 93 437 | 35 | 55 288 |
| 40 | 178 305 | 40 | 87 369 | 40 | 51 698 |
| 45 | 164 594 | 45 | 80 651 | 45 | 47 723 |
| 50 | 149 627 | 50 | 73 317 | 50 | 43 383 |
| 55 | 133 519 | 55 | 65 424 | 55 | 38 713 |
| 60 | 116 387 | 60 | 57 030 | 60 | 33 745 |
| 65 | 98 370 | 65 | 48 201 | 65 | 28 522 |
| 70 | 79 609 | 70 | 39 008 | 70 | 23 082 |
| 75 | 60 242 | 75 | 29 519 | 75 | 17 467 |
| 80 | 40 410 | 80 | 19 801 | 80 | 11 716 |
| 85 | 20 298 | 85 | 9 946 | 85 | 5 885 |
| 90 | 0 | 90 | 0 | 90 | 0 |
| 0,16 | 0 | 44 554 | 0,19 | 0 | 31 595 | 0,22 | 0 | 23 566 |
| 5 | 44 385 | 5 | 31 475 | 5 | 23 476 |
| 10 | 43 877 | 10 | 31 115 | 10 | 23 208 |
| 15 | 43 035 | 15 | 30 518 | 15 | 22 762 |
| 20 | 41 868 | 20 | 29 690 | 20 | 22 145 |
| 25 | 40 380 | 25 | 28 635 | 25 | 21 358 |
| 30 | 38 584 | 30 | 27 362 | 30 | 20 408 |
| 35 | 36 499 | 35 | 25 883 | 35 | 19 305 |
| 40 | 34 129 | 40 | 24 202 | 40 | 18 052 |
| 45 | 31 504 | 45 | 22 341 | 45 | 16 663 |
| 50 | 28 640 | 50 | 20 309 | 50 | 15 148 |
| 55 | 25 556 | 55 | 18 123 | 55 | 13 517 |
| 60 | 22 277 | 60 | 15 798 | 60 | 11 783 |
| 65 | 18 829 | 65 | 13 352 | 65 | 9 959 |
| 70 | 15 238 | 70 | 10 806 | 70 | 8 060 |
| 75 | 11 531 | 75 | 8 177 | 75 | 6 099 |
| 80 | 7 735 | 80 | 5 485 | 80 | 4 091 |
| 85 | 3 885 | 85 | 2 755 | 85 | 2 055 |
| 90 | 0 | 90 | 0 | 90 | 0 |

Таблица Б.4 -Значение напряжений (, Па), возникающих в различных точках почвенного слоя(R, м и , град.), под воздействием консольной части долота (, м) при = 0,20 м ( ≈ 0,09 м)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| R, м | , град. | , Па | R, м | , град. | , Па | R, м | , град. | , Па |
| 0,10 | 0 | 154 575 | 0,13 | 0 | 91 464 | 0,16 | 0 | 60 381 |
| 5 | 153 987 | 5 | 91 117 | 5 | 60 151 |
| 10 | 152 225 | 10 | 90 074 | 10 | 59 463 |
| 15 | 149 304 | 15 | 88 345 | 15 | 58 322 |
| 20 | 145 254 | 20 | 85 949 | 20 | 56 740 |
| 25 | 140 091 | 25 | 82 894 | 25 | 54 723 |
| 30 | 133 862 | 30 | 79 208 | 30 | 52 290 |
| 35 | 126 627 | 35 | 74 927 | 35 | 49 464 |
| 40 | 118 404 | 40 | 70 062 | 40 | 46 252 |
| 45 | 109 300 | 45 | 64 674 | 45 | 42 695 |
| 50 | 99 360 | 50 | 58 793 | 50 | 38 813 |
| 55 | 88 664 | 55 | 52 464 | 55 | 34 634 |
| 60 | 77 287 | 60 | 45 732 | 60 | 30 190 |
| 65 | 65 323 | 65 | 38 653 | 65 | 25 517 |
| 70 | 52 864 | 70 | 31 281 | 70 | 20 650 |
| 75 | 40 004 | 75 | 23 671 | 75 | 15 627 |
| 80 | 26 834 | 80 | 15 878 | 80 | 10 482 |
| 85 | 13 479 | 85 | 7 976 | 85 | 5 265 |
| 90 | 0 | 90 | 0 | 90 | 0 |
| 0,19 | 0 | 42 818 | 0,22 | 0 | 31 937 | 0,25 | 0 | 24 732 |
| 5 | 42 656 | 5 | 31 816 | 5 | 24 638 |
| 10 | 42 168 | 10 | 31 451 | 10 | 24 356 |
| 15 | 41 358 | 15 | 30 848 | 15 | 23 889 |
| 20 | 40 236 | 20 | 30 011 | 20 | 23 241 |
| 25 | 38 806 | 25 | 28 944 | 25 | 22 415 |
| 30 | 37 081 | 30 | 27 657 | 30 | 21 418 |
| 35 | 35 077 | 35 | 26 163 | 35 | 20 260 |
| 40 | 32 799 | 40 | 24 464 | 40 | 18 945 |
| 45 | 30 277 | 45 | 22 583 | 45 | 17 488 |
| 50 | 27 524 | 50 | 20 529 | 50 | 15 898 |
| 55 | 24 561 | 55 | 18 319 | 55 | 14 186 |
| 60 | 21 409 | 60 | 15 968 | 60 | 12 366 |
| 65 | 18 095 | 65 | 13 497 | 65 | 10 452 |
| 70 | 14 644 | 70 | 10 922 | 70 | 8 458 |
| 75 | 11 081 | 75 | 8 265 | 75 | 6 401 |
| 80 | 7 433 | 80 | 5 544 | 80 | 4 293 |
| 85 | 3 734 | 85 | 2 785 | 85 | 2 157 |
| 90 | 0 | 90 | 0 | 90 | 0 |

Таблица Б.5 -Значение напряжений (, Па), возникающих в различных точках почвенного слоя(R, м и , град.), под воздействием консольной части долота (, м) при = 0,25 м ( ≈ 0,11 м)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| R, м | , град. | , Па | R, м | , град. | , Па | R, м | , град. | , Па |
| 0,11 | 0 | 164 143 | 0,15 | 0 | 88 272 | 0,19 | 0 | 55 017 |
| 5 | 163 519 | 5 | 87 937 | 5 | 54 808 |
| 10 | 161 648 | 10 | 86 931 | 10 | 54 181 |
| 15 | 158 546 | 15 | 85 262 | 15 | 53 141 |
| 20 | 154 245 | 20 | 82 950 | 20 | 51 700 |
| 25 | 148 763 | 25 | 80 001 | 25 | 49 862 |
| 30 | 142 148 | 30 | 76 444 | 30 | 47 645 |
| 35 | 134 466 | 35 | 72 313 | 35 | 45 070 |
| 40 | 125 733 | 40 | 67 617 | 40 | 42 143 |
| 45 | 116 065 | 45 | 62 417 | 45 | 38 903 |
| 50 | 105 511 | 50 | 56 741 | 50 | 35 365 |
| 55 | 94 152 | 55 | 50 633 | 55 | 31 558 |
| 60 | 82 071 | 60 | 44 136 | 60 | 27 509 |
| 65 | 69 367 | 65 | 37 304 | 65 | 23 250 |
| 70 | 56 137 | 70 | 30 189 | 70 | 18 816 |
| 75 | 42 480 | 75 | 22 845 | 75 | 14 239 |
| 80 | 28 495 | 80 | 15 324 | 80 | 9 551 |
| 85 | 14 313 | 85 | 7 697 | 85 | 4 798 |
| 90 | 0 | 90 | 0 | 90 | 0 |
| 0,23 | 0 | 37 545 | 0,27 | 0 | 27 245 | 0,29 | 0 | 23 616 |
| 5 | 37 402 | 5 | 27 141 | 5 | 23 527 |
| 10 | 36 974 | 10 | 26 830 | 10 | 23 257 |
| 15 | 36 265 | 15 | 26 316 | 15 | 22 811 |
| 20 | 35 281 | 20 | 25 602 | 20 | 22 192 |
| 25 | 34 027 | 25 | 24 692 | 25 | 21 403 |
| 30 | 32 514 | 30 | 23 594 | 30 | 20 452 |
| 35 | 30 757 | 35 | 22 319 | 35 | 19 346 |
| 40 | 28 759 | 40 | 20 869 | 40 | 18 090 |
| 45 | 26 548 | 45 | 19 265 | 45 | 16 699 |
| 50 | 24 134 | 50 | 17 513 | 50 | 15 181 |
| 55 | 21 536 | 55 | 15 627 | 55 | 13 546 |
| 60 | 18 772 | 60 | 13 622 | 60 | 11 808 |
| 65 | 15 867 | 65 | 11 514 | 65 | 9 980 |
| 70 | 12 840 | 70 | 9 318 | 70 | 8 077 |
| 75 | 9 717 | 75 | 7 051 | 75 | 6 112 |
| 80 | 6 518 | 80 | 4 730 | 80 | 4 100 |
| 85 | 3 274 | 85 | 2 376 | 85 | 2 059 |
| 90 | 0 | 90 | 0 | 90 | 0 |

Таблица Б.6 -Значение напряжений (, Па), возникающих в различных точках почвенного слоя(R, м и , град.), под воздействием консольной части долота (, м) при = 0,30 м ( ≈ 0,13 м)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| R, м | , град. | , Па | R, м | , град. | , Па | R, м | , град. | , Па |
| 0,13 | 0 | 145 665 | 0,17 | 0 | 85 181 | 0,21 | 0 | 55 822 |
| 5 | 145 112 | 5 | 84 858 | 5 | 55 610 |
| 10 | 143 451 | 10 | 83 887 | 10 | 54 973 |
| 15 | 140 698 | 15 | 82 277 | 15 | 53 918 |
| 20 | 136 882 | 20 | 80 045 | 20 | 52 456 |
| 25 | 132 016 | 25 | 77 200 | 25 | 50 591 |
| 30 | 126 146 | 30 | 73 767 | 30 | 48 342 |
| 35 | 119 329 | 35 | 69 781 | 35 | 45 729 |
| 40 | 111 580 | 40 | 65 249 | 40 | 42 760 |
| 45 | 103 000 | 45 | 60 232 | 45 | 39 472 |
| 50 | 93 634 | 50 | 54 755 | 50 | 35 882 |
| 55 | 83 554 | 55 | 48 860 | 55 | 32 019 |
| 60 | 72 833 | 60 | 42 591 | 60 | 27 911 |
| 65 | 61 558 | 65 | 35 998 | 65 | 23 590 |
| 70 | 49 818 | 70 | 29 132 | 70 | 19 091 |
| 75 | 37 698 | 75 | 22 045 | 75 | 14 447 |
| 80 | 25 287 | 80 | 14 787 | 80 | 9 691 |
| 85 | 12 702 | 85 | 7 428 | 85 | 4 868 |
| 90 | 0 | 90 | 0 | 90 | 0 |
| 0,25 | 0 | 39 388 | 0,29 | 0 | 29 272 | 0,32 | 0 | 24 040 |
| 5 | 39 238 | 5 | 29 160 | 5 | 23 949 |
| 10 | 38 789 | 10 | 28 827 | 10 | 23 675 |
| 15 | 38 045 | 15 | 28 273 | 15 | 23 221 |
| 20 | 37 013 | 20 | 27 507 | 20 | 22 591 |
| 25 | 35 697 | 25 | 26 529 | 25 | 21 788 |
| 30 | 34 110 | 30 | 25 349 | 30 | 20 819 |
| 35 | 32 267 | 35 | 23 979 | 35 | 19 694 |
| 40 | 30 171 | 40 | 22 422 | 40 | 18 415 |
| 45 | 27 851 | 45 | 20 698 | 45 | 16 999 |
| 50 | 25 319 | 50 | 18 816 | 50 | 15 453 |
| 55 | 22 593 | 55 | 16 790 | 55 | 13 790 |
| 60 | 19 694 | 60 | 14 636 | 60 | 12 020 |
| 65 | 16 645 | 65 | 12 370 | 65 | 10 159 |
| 70 | 13 471 | 70 | 10 011 | 70 | 8 222 |
| 75 | 10 194 | 75 | 7 575 | 75 | 6 222 |
| 80 | 6 838 | 80 | 5 082 | 80 | 4 173 |
| 85 | 3 435 | 85 | 2 552 | 85 | 2 096 |
| 90 | 0 | 90 | 0 | 90 | 0 |

|  |
| --- |
| E:\Документы Антон\Докторантура\_Попытка № 4 2017 год\Диссертация\раздел 2\ПРИЛОЖЕНИЕ 2 от 31.05.2022\распределение напряжения 31.05.2022\уменьшенный масштаб\длина консоль части долота 5 (2 верт).jpg |
| а) |
| E:\Документы Антон\Докторантура\_Попытка № 4 2017 год\Диссертация\раздел 2\ПРИЛОЖЕНИЕ 2 от 31.05.2022\распределение напряжения 31.05.2022\уменьшенный масштаб\длина консоль части долота 10 (4 верт).jpg |
| б) |
| E:\Документы Антон\Докторантура\_Попытка № 4 2017 год\Диссертация\раздел 2\ПРИЛОЖЕНИЕ 2 от 31.05.2022\распределение напряжения 31.05.2022\уменьшенный масштаб\длина консоль части долота 15 (7 верт).jpg |
| в) |
| а) = 0,05 м ( ≈ 0,02 м); б) = 0,10 м ( ≈ 0,04 м);  в) = 0,15 м ( ≈ 0,07 м) |
| Рисунок Б.1 - Эпюры напряжений для долот с различными значениями |
| E:\Документы Антон\Докторантура\_Попытка № 4 2017 год\Диссертация\раздел 2\ПРИЛОЖЕНИЕ 2 от 31.05.2022\распределение напряжения 31.05.2022\уменьшенный масштаб\длина консоль части долота 20 (9 верт).jpg |
| а) |
| E:\Документы Антон\Докторантура\_Попытка № 4 2017 год\Диссертация\раздел 2\ПРИЛОЖЕНИЕ 2 от 31.05.2022\распределение напряжения 31.05.2022\уменьшенный масштаб\длина консоль части долота 25 (11 верт).jpg |
| б) |
| E:\Документы Антон\Докторантура\_Попытка № 4 2017 год\Диссертация\раздел 2\ПРИЛОЖЕНИЕ 2 от 31.05.2022\распределение напряжения 31.05.2022\уменьшенный масштаб\длина консоль части долота 30 (13 верт).jpg |
| в) |
| а) = = 0,15 м ( ≈ 0,07 м); б) = 0,25 м ( ≈ 0,11 м);  в) = 0,30 м ( ≈ 0,13 м) |
| Рисунок Б.2 - Эпюры напряжений для долот с различными значениями |

Таблица Б.7 - Значения при использовании долот с различной длиной консольной части (, м)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| , м | (), м | , м2 | , м2 | , м2 | , м2 |
| 0,06 | 0,05 (0,02) | 0,0035 | 0,0034 | 0,0066 | 0,0136 |
| 0,06 | 0,10 (0,04) | 0,0043 | 0,0061 | 0,0132 | 0,0237 |
| 0,06 | 0,15 (0,07) | 0,0047 | 0,0110 | 0,0209 | 0,0366 |
| 0,06 | 0,20 (0,09) | 0,0048 | 0,0147 | 0,0275 | 0,0470 |
| 0,06 | 0,25 (0,11) | 0,0036 | 0,0150 | 0,0360 | 0,0546 |
| 0,06 | 0,30 (0,13) | 0,0032 | 0,0198 | 0,0422 | 0,0651 |

# ПРИЛОЖЕНИЕ В

# Средства измерений и оборудование, применяемое при проведении экспериментальных исследований

Общий перечень средств измерений и оборудования, применяемого при проведении экспериментальных исследований, представлен в таблице В.1.

Таблица В.1 – Перечень средства измерений и оборудования, применяемого при проведении экспериментальных исследований

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Измеряемый параметр | Наименование прибора,  оборудования, инструмента | Погрешность измерения |
| Линейные размеры | Рулетки измерительные металлические Р2УЗК, Р10УЗК | ±0,5 мм |
| Время | Секундомер СДС 0-30-30 | ±0,1 сек |
| Влажность воздуха  Атмосферное давление  Температура окружающего воздуха | Измеритель параметров микроклимата Метеоскоп-М | ±0,5 % |
| Масса | Весы электронные MWP-300H  Весы электронные SW-10 | ±2,0 %  ±2,0 % |
| Агрегатный состав почвы | Комплект сит решетных металлических 390×390 мм Тип 1 |  |
| Твердость почвы | Твердомер почвы конструкции ВИСХОМ | - |
| Плотность почвы | Устройство для отбора проб на плотность | - |
| Глубина обработки | Линейка измерительная металлическая 500 мм | ±0,15 мм |
| Сохранность стерни | Рамка для сбора стерни | - |
| Тяговое сопротивление | тензометрическая станция ZET017-T8 | ±1 мВ |
| Тензометрическое звено на 20 кН | - |
| Плита для установки тензометрического звена | - |
| Тензометрическое звено на 100 кН | - |
| Плита для установки тензометрического звена | - |
| Тара для почвы | Бюксы | - |
| Скорость | Информационно-измерительная система ИП-238 | ±0,5 % |
| Импульсный датчик оборотов колеса | ±1,0 % |
| Источник питания | Аккумуляторная батарея 6СТ-55 | - |
| Энергосредство | Трактор МТЗ-1221 (тяговый класс 2,0) | - |
| Трактор «Кировец» К-744Р2 (тяговый класс 6,0) | - |

Используемые при проведении экспериментальных исследований средства измерения имели сертификаты о поверке установленного государственного образца.

Устройство для отбора почвенных проб из центральной и периферийной части плоскорежущего рабочего органа, оборудование для проведения тензометрирования, определения скорости движения и расхода топлива рассмотрено ниже.

### В.1 Устройство для отбора почвенных проб из центральной и периферийной части плоскорежущего рабочего органа

Устройство для отбора почвенных проб (производство КФ ТОО "НПЦ агроинженерии"), использовалось для определения крошения почвенного слоя соответственно в центральной и периферийной части. Общий вид устройства представлен на рисунке В.1.

Устройство выполнено в форме прямоугольного короба со съемной передней стенкой. Ширина устройства равна ширине захвата плоскорежущего рабочего органа. Длина устройства была постоянной и составляла 0,15 м. Высота устройства позволяла погружать его на максимальную глубину обработки.

После погружения устройства в обработанный почвенный слой со стороны съемной стенки делался подкоп, достаточный для снятия передней стенки и беспрепятственного извлечения почвенных проб, находящихся в центральной и периферийных частях плоскорежущего рабочего органа.

|  |  |
| --- | --- |
| E:\Учеба\Докторантура\_Попытка № 4 2017 год\Диссертация\раздел 3\устройство для отбора проб\P1180640.JPG | E:\Учеба\Докторантура\_Попытка № 4 2017 год\Диссертация\раздел 3\устройство для отбора проб\P1180648.JPG |
|  |  |
| а) | б) |
|  | |
| а) устройство, заглубленное в почвенный слой на глубину обработки;  б) устройство, подготовленное к поочередному извлечению слоев из центральной и периферийной части плоскорежущего рабочего органа | |
|  | |
| Рисунок В.1 - Устройство для отбора почвенных проб из центральной и периферийной части плоскорежущего рабочего органа | |

### В.2 Оборудование для проведения тензометрирования лабораторно-полевой установки и образца орудия

*Оборудование, применяемое при тензометрировании ЛПУ*

Общий вид компонентов тензометрического оборудования представлен на рисунках В.2 и В.3.

|  |
| --- |
|  |
| 1- тензометрическое звено сжатия (20 кН); 2 – тензометрическая станция; 3- переносной ПК; 4- преобразователь напряжения 12-220 В |
|  |
| Рисунок В.2 - Общий вид тензометрического оборудования |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| а) | б) |
|  | |
| 1 – тензометрическое звено; 2 – плита для установки тензометрического  звена; 3 - навесная система трактора; 4 – лабораторная установка | |
|  | |
| а) общий вид; б) взаимное расположение компонентов тензометрического оборудования, навесной системы трактора и лабораторной установки | |
|  | |
| Рисунок В.3 - Компоненты тензометрического оборудования, установленные на навесную систему трактора | |

Оборудование применяемое при тензометрировании ЛПУ состояло из плиты (производство КФ ТОО "НПЦ агроинженерии"), тензометрического звена растяжения на 20 кН (производство КФ ТОО "НПЦ агроинженерии"), тензометрической станции ZET017-T8 (производство ZETLAB), переносного персонального компьютера AcerAspireE 15 (производитель Acer), преобразователя напряжения с 12-220 ВRobitonR300 (производитель Robiton).

Соединение ЛПУ с энергетическим средством осуществлялось через плиту, на которой предварительно устанавливалось тензометрическое звено. Плита, в свою очередь, фиксировалась на навесной системе энергетического средства. Деформация тензометрического звена, возникающая в результате его растяжения силами сопротивления от протаскивания в почве вариантов двугранных клиньев либо вариантов плоскорежущих рабочих органов в почве и перекатывании ЛПУ, преобразовывалась в электрический сигнал, который поступал по сигнальным проводам в тензометрическую станцию, где происходило его усиление и дальнейшая обработка. Полученные значения общего тягового сопротивления записывались на жесткий диск персонального компьютера, к которому была подключена тензометрическая станция.

*Оборудование применяемое при тензометрировании образца орудия.*

В общем виде комплектность тензометрического оборудования, применяемого при тензометривании макетного образца аналогична той, что применялась при работе с ЛПУ (рисунок В.3). Различия заключались в том, что при работе с макетным образцом использовалось универсальное S-образное тензометрическое звено ТМУ 100/1 на 100 кН (производство Интерприбор), а вместо плиты, представленной на рисунке В.3, для фиксации тензометрического звена использовалось устройство, в основу которого был заложен принцип пространственного механизма Саррюса. Фотографии универсального тензометрического S-образного звена и устройства его фиксации, использованного для тензометрирования макетного образца орудия, представлены на рисунках В.4 и В.5.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| а) | б) |
|  | |
| 1 – тензометрическое звено; 2 – устройство для фиксации тензометрического звена; 3 - навесная система трактора; 4 – макетный образец | |
|  | |
| а) общий вид; б) взаимное расположение компонентов тензометрического оборудования, навесной системы трактора и макетного образца | |
|  | |
| Рисунок В.4 – Компоненты тензометрического оборудования, установленные на навесную систему трактора | |

|  |
| --- |
| C:\Users\User\Desktop\фото для диссертации\тензозвено 100 кН.jpg |
| 1- тензометрическое звено; 2 – силопередающие устройства; 3- экранированный провод |
|  |
| Рисунок В.5 – Общий вид универсального тензометрического S-образного звена (100 кН) |

### В.3 Оборудование для определения скорости движения и расхода топлива

Замер расхода топлива осуществлялся дискретным расходомером топлива ИП-197 с объемно-поршневым типом дозирующего механизма (производства КубНИИТиМ). Замер скорости движения агрегата –импульсным 8-и кулачковым датчиком оборота колеса (производства КФ ТОО «НПЦ агроинженерии»).

Обработка получаемых от расходомера топлива и импульсного датчика оборотов колеса сигналов осуществлялась информационно-измерительной системой ИП-238 (производства КубНИИТиМ). Вид указанных устройств представлен на рисунке В.6 (соединительные провода и шланги на рисунке не представлены).

|  |
| --- |
|  |
|  |
| 1 – цифровая информационно-измерительная система ИП-238; 2 – электронный блок преобразования дискретного сигнала расходомера топлива ИП-197; 3 – датчик расхода топлива; 4 – импульсный датчик оборотов колеса |
|  |
| Рисунок В.6 – Общий вид электронной измерительной системы, предназначенной для замера расхода топлива и скорости движения агрегата |

# ПРИЛОЖЕНИЕ Г

# Условия проведения экспериментальных исследований

*Условия проведения экспериментальных исследований 2018 года.*

Экспериментальные исследования в 2018 году проводились в районе поселка Абай Костанайского района в период с 25 августа по 10 сентября. Характеристики условий экспериментальных исследований представлены в таблицах Г.1 и Г.2.

Таблица Г.1 – Характеристики поля

|  |  |
| --- | --- |
| Показатель | Значение показателя |
| Тип почвы | чернозем обыкновенный |
| Механический состав | супесчаная |
| Предшествующая обработка | Уборка зерновых |
| Рельеф участка, см: | 3,2 |
| - продольный |
| - поперечный | 3,5 |
| Масса растительных и пожнивных остатков, г/м2 | 105,5 |
| Высота (длина) растительных и пожнивных остатков, см | 15,6 |
| Содержание эрозионно-опасных частиц почвы в слое 0-5 см, % | 5,5 |

На выбранном поле в течение пяти лет бессменно возделывались яровые зерновые культуры с применением отдельных элементов нулевой технологии – химический пар, отсутствие механических обработок почвы. Фон – стерня зерновых.

Таблица Г.2 – Физико-механические характеристики почвы

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Почвенные слои, см | Определяемые показатели: | | |
| влажность, % | твердость, МПа | плотность, г/см3 |
| 0–5 | 14,1 | 1,1 | 1,1 |
| 5–10 | 14,5 | 3,0 | 1,2 |
| 10–15 | 16,6 | 4,7 | 1,3 |
| 15–20 | 19,4 | 5,5 | 1,3 |
| 20–25 | 18,9 | 6,1 | 1,3 |
| 25–30 | 17,6 | 7,1 | 1,3 |

*Условия проведения экспериментальных исследований 2019 года.*

Экспериментальные исследования в 2019 году проводились в районе поселка Архиповка Мендыкаринского района в период с 20 августа по 08 сентября. Характеристики условий экспериментальных исследований представлены в таблицах Г.3 и Г.4.

Таблица Г.3 – Характеристики поля

|  |  |
| --- | --- |
| Показатель | Значение показателя |
| Тип почвы | чернозем обыкновенный |
| Механический состав | супесчаная |
| Предшествующая обработка | Уборка зерновых |
| Рельеф участка, см: | 4,1 |
| - продольный |
| - поперечный | 4,0 |
| Масса растительных и пожнивных остатков, г/м2 | 96,4 |
| Высота (длина) растительных и пожнивных остатков, см | 16,5 |
| Содержание эрозионно-опасных частиц почвы в слое 0-5 см, % | 5,2 |

На выбранном поле возделывались зерновые культуры с применением элементов минимальной обработки почвы – мелкая обработка парового поля на глубину не более 16 см. Фон – стерня зерновых.

Таблица Г.4 – Физико-механические характеристики почвы

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Почвенный слой, см | Определяемый показатель | | |
| влажность, % | твердость, МПа | плотность, г/см3 |
| 0–5 | 13,7 | 1,1 | 1,2 |
| 5–10 | 15,1 | 3,0 | 1,3 |
| 10–15 | 17,3 | 4,4 | 1,3 |
| 15–20 | 18,9 | 5,2 | 1,4 |
| 20–25 | 18,6 | 5,7 | 1,4 |
| 25–30 | 18,1 | 6,5 | 1,3 |

# ПРИЛОЖЕНИЕ Д

# Исходные данные для проведения экономической оценки и экономические показатели работы агрегатов

Таблица Д.1 – Исходные данные для проведения экономической оценки агрегатов

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Показатель | Состав агрегатов | | |
| базовый вариант | новый вариант | |
| К-735+РСП-5,4 | К735+новое орудие | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Число обслуживающего персонала, чел. | 1 | 1 | 1 |
| Оплата труда обслуживающего персонала, тенге/чел.-ч | 1500 | 1500 | 1500 |
| Коэффициент начислений на зарплату | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Ширина захвата, м | 5,40 | 5,60 | 4,90 |
| Рабочая скорость, м/с (км/ч) | 1,70 (6,10) | 2,00 (7,20) | 2,20 (7,90) |
| Производительность за 1 час времени, га/ч: |  |  |  |
| - сменного | 2,81 | 3,30 | 3,43 |
| - эксплуатационного | 2,81 | 3,30 | 3,43 |
| Удельный расход топлива, кг/га | 21,36 | 18,19 | 17,51 |
| Цена топлива, тенге/кг | 266,8 | 266,8 | 266,8 |
| Коэффициент учета стоимости смазочных материалов | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Цена техники, тенге: |  |  |  |
| - трактора | 81 339 570 | 81 339 570 | 81 339 570 |
| - сельхозмашины | 8 623 000 | 9 125 000 | 8 220 000 |
| Цена техники (без НДС), тенге: |  |  |  |
| - трактора | 71 578 822 | 71 578 822 | 71 578 822 |
| - сельхозмашины | 7 588 240 | 8 030 000 | 7 233 600 |
| Балансовая цена техники, тенге: |  |  |  |
| - трактора | 78 736 704 | 78 736 704 | 78 736 704 |
| - сельхозмашины | 8 347 064 | 8 833 000 | 7 956 960 |
| Коэффициент отчислений на ремонт и техническое обслуживание техники: |  |  |  |
| - трактора | 0,08 | 0,08 | 0,08 |
| - сельхозмашины | 0,110 | 0,110 | 0,110 |
| Годовая зональная загрузка техники, ч: |  |  |  |
| - трактора | 940 | 940 | 940 |
| - сельхозмашины | 200 | 200 | 200 |

Продолжение таблицы Д.1

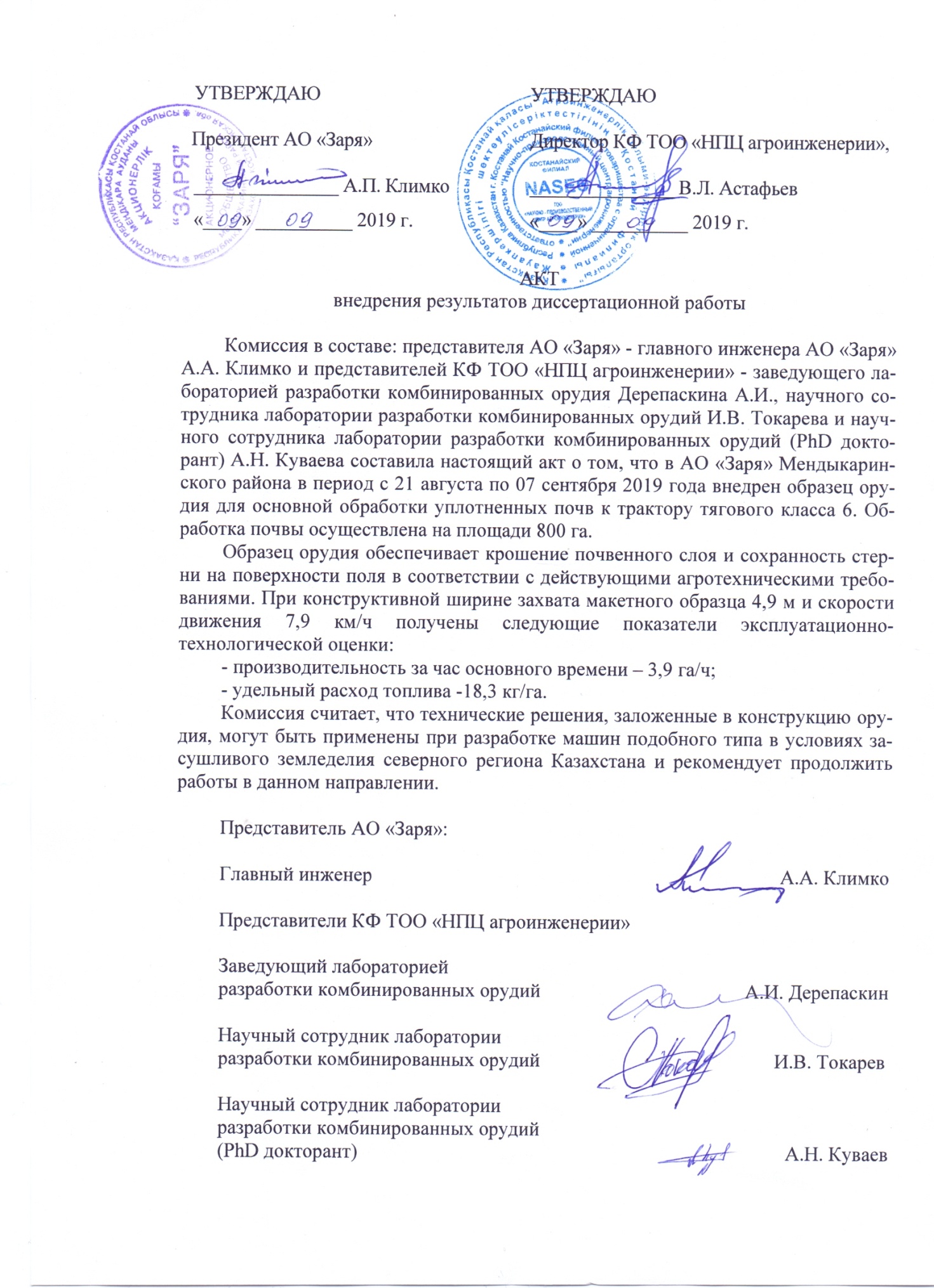
|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Коэффициент отчислений на амортизацию техники: |  |  |  |
| - трактора | 0,100 | 0,100 | 0,100 |
| - сельхозмашины | 0,125 | 0,125 | 0,125 |
| Обрабатываемая площадь, га | 10000 | 10000 | 10000 |
| Технический ресурс техники (по данным предприятия-изготовителя), ч: |  |  |  |
| - трактора | 13500 | 13500 | 13500 |
| - сельхозмашины | 1600 | 1600 | 1600 |
| Ресурс техники (рассчитанный по фактическим данным или нормативам), ч |  |  |  |
| - трактора | 13500 | 13500 | 13500 |
| - сельхозмашины | 1600 | 1600 | 1600 |
| Фактическая загрузка на i-ом виде работ техники, ч | 200 | 200 | 200 |
| Годовая фактическая загрузка техники, ч | 1350 | 1350 | 1350 |
| Совокупный комплексный показатель безопасности труда | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| Затраты на подготовку одного механизатора в год, тенге | 300 000 | 300 000 | 300 000 |
| Коэффициент текучести кадров | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| Продолжительность смены, ч | 7 | 14 | 14 |
| Коэффициент потерь рабочих дней | 6 | 6 | 6 |
| Коэффициент материальных потерь по причине травматизма | 3,4 | 3,4 | 3,4 |
| Годовая занятость механизатора, ч | 1800 | 1800 | 1800 |
| Норма затрат на охрану окружающей среды, тенге/кг | 1,02 | 1,02 | 1,02 |

Таблица Д.2 – Экономические показатели агрегатов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование сельскохозяйственной операции | Состав агрегата | Цена техники, тг. | Число обслужи-вающего персонала, чел. | Производительность, га/ч | | Расход топлива, кг/га | Структура совокупных затрат, тенге/га | | | | | | | | | Удельная остаточная стоимость, тенге/га |
| в том числе прямые эксплуатационные затраты на | | | | | затраты средств, учитывающие изменения количества и качества продукции | затраты средств, учитывающие уровень условий труда | затраты средств, учитывающие отрицательное воздействие на окружающую среду | всего |
| сменная | эксплуатационная | зарплату | топливо | ремонт и техническое обслуживание | амортизацию | прочие затраты |
| глубокая полскорезная обработка | Базовая техника | | | | | | | | | | | | | | | |
| К-735+РСП-5,4 | 79167061,6 | 1,0 | 2,8 | 2,8 | 21,4 | 534,0 | 5 698,7 | 3 654,3 | 4 399,1 | 0,0 | 0,0 | 31,3 | 21,8 | 14339,2 | 0,0 |
| Новая техника | | | | | | | | | | | | | | | |
| К735+новое орудие ( = 5,6 м, = 2,0 м/с) | 79608821,6 | 1,0 | 3,4 | 3,4 | 17,5 | 437,7 | 4 670,9 | 3 066,2 | 3 686,3 | 0,0 | 0,0 | 30,8 | 17,9 | 11909,6 | 0,0 |
| К735+новое орудие ( = 4,9 м, = 2,2 м/с) | 78812421,6 | 1,0 | 3,3 | 3,3 | 18,2 | 454,7 | 4 852,9 | 3 052,8 | 3 679,0 | 0,0 | 0,0 | 32,0 | 18,6 | 12090,0 | 0,0 |

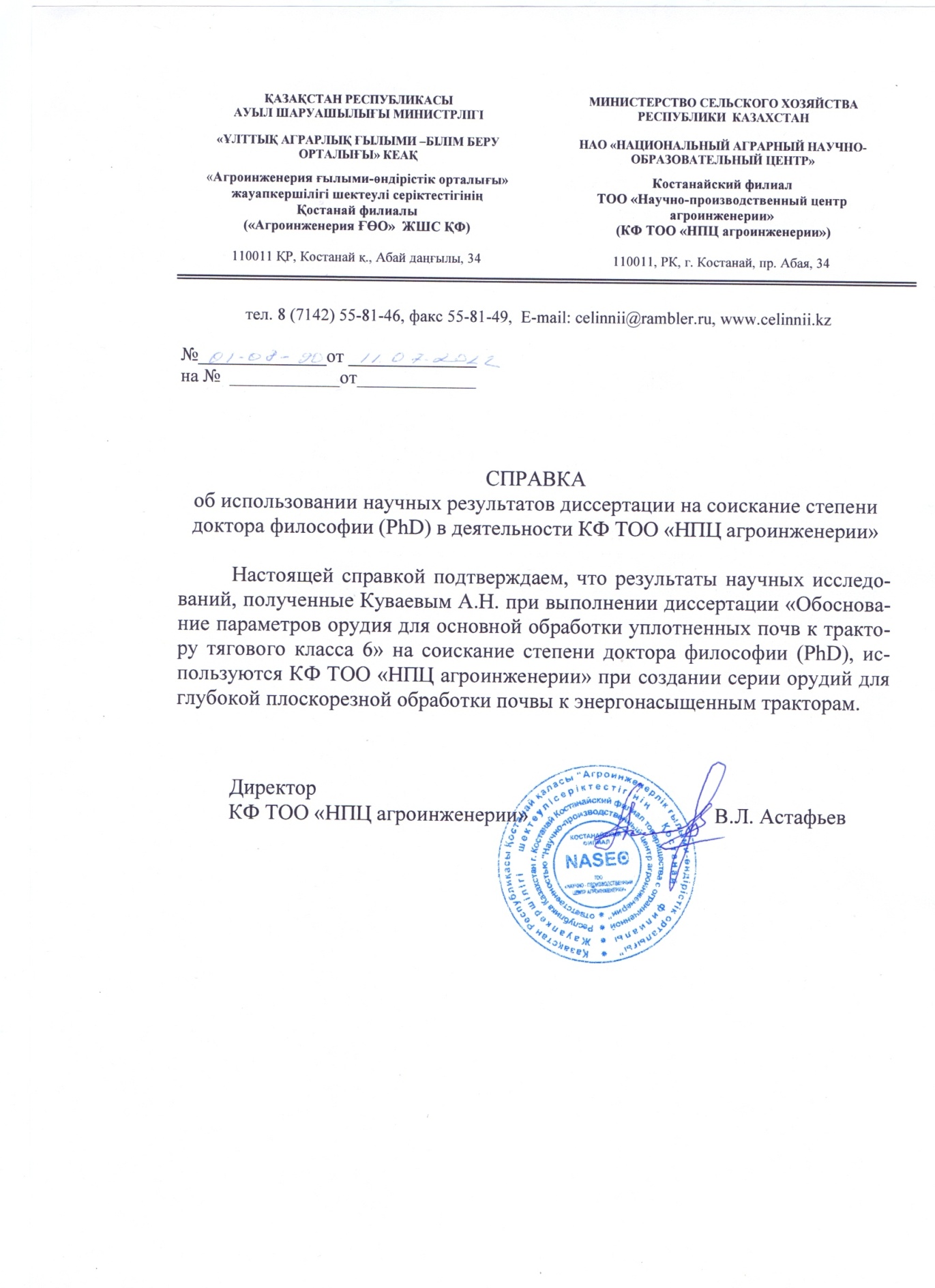
# ПРИЛОЖЕНИЕ Е

# Акт внедрения результатов диссертационной работы (копия)



# ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

# Справка об использовании научных результатов диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) в деятельности КФ ТОО «НПЦ агроинженерии» (копия)



# ПРИЛОЖЕНИЕ И

# Патент на изобретение Республики Казахстан (копия)

|  |
| --- |
| D:\КазНИИМЭСХ\___ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛАХ, ПАТЕНТЫ\Патенты\орудие для основной обработки уплотненных почв\картинки\1 - 0001.jpg |
|  |
| D:\КазНИИМЭСХ\___ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛАХ, ПАТЕНТЫ\Патенты\орудие для основной обработки уплотненных почв\картинки\1 - 0002.jpg |
|  |
| D:\КазНИИМЭСХ\___ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛАХ, ПАТЕНТЫ\Патенты\орудие для основной обработки уплотненных почв\картинки\1 - 0003.jpg |