

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Бурятская государственная сельскохозяйственная академия
имени В.Р. Филиппова»

На правах рукописи



Дамбаева Баирма Ефимовна

**РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СОШНИКА
С ПРИКАТЫВАЮЩИМ КАТКОМ И РЫХЛИТЕЛЕМ В УСЛОВИЯХ БУРЯТИИ**

Специальность 4.3.1. Технологии, машины и оборудование
для агропромышленного комплекса

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
Раднаев Даба Нимаевич
доктор технических наук,
профессор

Улан-Удэ – 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	10
1.1. Агротехнические требования к посеву, прикатыванию и их анализ	10
1.2. Особенности технологии посева в засушливых степях Забайкалья	22
1.3. Обзор методов посева и их механизированная реализация.....	23
1.4. Исследование устойчивости работы сошника по глубине укладки семян.....	38
1.5. Выводы по первой главе.....	43
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО ДИСКОВОГО СОШНИКА	45
2.1. Выбор и обоснование конструкционно-технологической конфигурации дискового сошника для полосового посева.....	45
2.2. Обоснование сил, действующих на усовершенствованный сошник.....	50
2.3. Теоретические предпосылки к определению устойчивости хода сошника.....	58
2.4. Выводы по второй главе	67
ГЛАВА 3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ	68
3.1. Методика лабораторных исследований.....	68
3.1.1. Лабораторные исследования рабочего органа.....	69
3.1.2. Методика определения физических свойств почвы.....	70
3.1.3. Методика планирования эксперимента в лабораторных условиях.....	72
3.2. Методика определения тягового сопротивления рыхлителя	74
3.2.1. Описание лабораторной установки	74
3.3. Программа полевых исследований	78
3.3.1. Методика определения распределения равномерности глубины заделки семян	79
3.3.2. Методика определения полевой всхожести семян.....	80
3.3.3. Методика определения урожайности.....	80
3.3.4. Методика обработки экспериментальных данных.....	80

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	82
4.1. Технологическая схема экспериментального сошника.....	82
4.2. Разработка и обоснование конструктивных характеристик комбинированного сошника.....	83
4.3. Результаты планирования полного факторного эксперимента.....	87
4.4. Изучение поверхности отклика с помощью двумерных сечений.....	90
4.5. Установление степени взаимной связи между основными параметрами сошника с рыхлителем	93
4.6. Оценка адекватности теоретических решений.....	97
4.7. Параметры для оценки тягового сопротивления.....	98
4.8. Механические свойства почвы и обоснование параметров рыхлителя.....	102
4.9. Результаты полевых испытаний зерновой сеялки СЗУ-3,6 с усовершенствованным сошником.....	105
4.10. Выводы по главе.....	108
ГЛАВА 5. АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ПРЕДЛАГАЕМОЙ ТЕХНОЛОГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО СОШНИКА.....	109
5.1. Себестоимость конструкторской разработки.....	109
5.2. Идентификация показателей технической и экономической эффективности посевного комплекса.....	110
5.3. Выводы по главе.....	115
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	116
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	118
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	132

ВВЕДЕНИЕ

Урожайность зерновых культур тесно связана с качеством выбора семян, конфигурацией и составом посевных площадей, а также сложностью агротехнических приемов их возделывания. Современные методы обработки почвы, посева и защиты от эрозии существенно улучшают эффективность и продуктивность работы.

Норма посева зависит от выбранных аграрных технологий. Разработка новых и более продвинутых сельскохозяйственных механизмов значительно повышает эффективность труда. Ключевым фактором в успешном возделывании зерновых культур является плотность почвы, оптимальная обработка которой способствует увеличению урожая. Уплотнение почвы приводит к её более быстрому прогреванию, что играет важную роль в выращивании зерновых растений. Тем не менее, современные техники уплотнения почвы не всегда полностью удовлетворяют агротехнические требования для посева.

В этом контексте ведутся работы по созданию дисковых сошников с прикатывающим катком для выполнения полосового посева зерновых в Бурятии, что представляется значимой задачей и перспективным направлением, которое способно улучшить условия сельского хозяйства и повысить его результативность.

Актуальность темы. Для увеличения производительности при выращивании зерновых культур необходимо использовать современные технологии, которые помогут экономить энергию и ресурсы. Важную роль играют новые машины и оборудование, такие как посевные машины и комплексы, способные выполнять несколько операций одновременно с учетом всех агротехнических требований. Особенно важно правильно провести посев семян на определенную глубину и с учетом оптимального распределения по площади.

Климатические и почвенные условия в различных регионах России, включая Бурятию, значительно отличаются от европейской части страны. Традиционные методы посева в Бурятии не всегда приносят желаемые

результаты в связи с холодной весной и недостатком влаги в почве. Посевы зерновых культур часто страдают из-за невысокой всхожести, что связывают с ускоренным высыханием верхнего слоя почвы весной. В результате приходится сеять семена на глубину 6-8 см, чтобы обеспечить их прорастание. Отклонение от рекомендованной глубины посева может отрицательно повлиять на урожай. Одновременный посев и прикатывание почвы может привести к образованию корки и замедлению роста растений. Наиболее эффективным считают полосовой посев с применением дискового сошника с прикатывающим катком и рыхлителем, который обеспечивает рациональные условия для питательных веществ и проникновения кислорода к семенам.

Нынешние модели сошников для сеялок не полностью соответствуют необходимым агротехническим стандартам, предъявляемым при посеве зерновых культур. Они не оборудованы специальными механизмами, которые могли бы адаптироваться к особенностям поля и обеспечить равномерное размещение семян на требуемой глубине.

Изучение конструкций технических устройств для посева зерновых культур, включающих прикатывающий каток с рыхлителем, имеет важное значение благодаря своим уникальным свойствам. Эти процессы приобретают существенное хозяйственное и экономическое значение для аграрного сектора Республики Бурятия.

Степень разработанности темы исследования. Исследования Шевелева В.М., Акулова В.М., Ивженко С.А., Курдюмова В.И., Голубева В.В., Сарсенова А.Е., Егорова А.Е., Прошкина В.Е., Сидорова Л.П., Бадмацыренова Д-Ц.Б. и других авторов посвящены теоретическим и практическим аспектам прикатывания почвы. Исследования в области технологии рядкового прикатывания почвы показали значительную осведомленность по данной теме. Однако современные модели катков для этого процесса обладают определенными недостатками, которые могут помешать выполнению требований по качеству эксплуатации. Таким образом, улучшение дисковых сошников с прикатывающим катком и рыхлителем при полосовом посеве

остаётся актуальной задачей.

В своих исследованиях Пяткин А.А., Габаев А.Х., Анутов Р.М., Сарсенов А.Е. и другие ученые изучают, как угол отклонения поводка от вертикальной плоскости влияет на устойчивость движения сошника. Они разработали различные математические модели, представленные для описания данного движения, которые влияют на стабильное распределение семян, если придерживаться агротехнических норм, что гарантирует прохождение сошника на глубину 6-8 см с допустимой погрешностью ± 1 см.

Тем не менее, на данный момент не проведены всесторонние исследования, направленные на создание аналитической модели для оценки устойчивости движения дискового сошника в тандеме с прикатывающим катком и рыхлителем, а также установление оптимальных условий эксплуатации и технических характеристик для сухостепной зоны Республики Бурятия.

Цель работы. Разработка комбинированного приема посева зерновых в почвенно-климатических условиях Бурятии и рабочего органа для его осуществления.

Гипотеза. Для повышения качества посева зерновых и увеличения скорости всходов в засушливых почвенно-климатических условиях Бурятии целесообразно использовать комбинированный сошник, совмещающий посев с одновременным прикатыванием и поверхностным рыхлением почвы.

Объект исследования. Технологический процесс посева зерновых культур с применением сошника, оснащенного прикатывающим катком и рыхлителем.

Предмет исследования. Выявление закономерностей воздействия параметров сошника с прикатывающим катком и рыхлителем на процесс посева зерновых культур.

Научная новизна.

1. Разработана математическая модель, характеризующая устойчивость движения сошника с прикатывающим катком и рыхлителем в вертикальной плоскости.

2. Получены закономерности для сохранения глубины заделки семян в зависимости от конструктивно-режимных параметров экспериментального сошника.

3. Обоснован новый агротехнический прием, конструктивная схема и режимные параметры усовершенствованного рабочего органа для посева зерновых культур.

4. Получена регрессионная модель изменения тягового сопротивления усовершенствованного рабочего органа от глубины хода и скорости перемещения сошника и конструктивных параметров рыхлителя.

Усовершенствованный сошник, описанный в патенте на полезную модель RU № 209248 U1, является оригинальным техническим решением (прил. VII).

Практическая значимость. Использование модернизированного сошника при посеве зерновых в засушливых районах Республики Бурятия способствует повышению урожайности на 2...2,3 центнера с гектара.

Теоретическая значимость работы. Получена аналитическая зависимость для анализа стабильности движения сошника с катком и рыхлителем в вертикальной плоскости с учетом угла отклонения сошника от его равновесного положения; теоретические и регрессионные зависимости, позволяющие определить влияние конструктивно-режимных параметров усовершенствованного рабочего органа на сохранение глубины посева зерновых.

Разработан новый агротехнический прием и обоснованы конструктивно-технологические схемы экспериментального сошника для посева зерновых в засушливых климатических условия Бурятии.

Методы исследования. Теоретические исследования выполнялись с использованием основных положений, законов и методов классической механики и математического анализа. Экспериментальные исследования базировались на планировании многофакторного эксперимента, априорного ранжирования, регрессионного и дисперсионного анализа. Эксперименты осуществлялись в лабораториях, а также на производственных и полевых

площадках в соответствии с общепринятыми методиками и действующими ГОСТами. Обработка и вычисления экспериментальных данных осуществлялись на персональном компьютере с использованием стандартного программного обеспечения, включая Microsoft Excel и Statistica 7.0 RUS.

Выдвигаемые положения:

1. Новый агротехнический прием посева зерновых культур в почвенно-климатических условиях Бурятии.

2. Математические модели и закономерности, характеризующие устойчивость работы сошника в зависимости от конструктивно-режимных параметров усовершенствованного рабочего органа.

3. Регрессионные модели, описывающие область оптимальных значений конструктивно-режимных параметров усовершенствованного рабочего органа для посева зерновых в соответствии с агротехническими требованиями.

4. Результаты тяговых испытаний, агротехнической, эксплуатационно-технологической и экономической оценок посевного агрегата с усовершенствованными сошниками.

Степень достоверности работы подтверждается значительной степенью сходимости теоретических и экспериментальных исследований.

Апробация работы. Итоги основных исследований были презентованы и получили одобрение на последующих конференциях: научно-практические конференции, приуроченные ко Дню российской науки, организованные ФГБОУ ВО «Бурятская ГСХА имени В.Р. Филиппова» с 2021 по 2024 год; научно-практические конференции, проведенные ФГБОУ ВО «ВСГУТУ» в период с 2021 по 2024 год; X Национальная научно-практическая конференция с международным участием, приуроченная к 90-летию профессора Терских И.П., организованная ФГБОУ ВО «ИрГАУ имени А.А. Ежевского» в 2022 году; Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием, посвященная 100-летию основанию Якутской АССР и 85-летию первого президента РС(Я) М.Е. Николаева (Николаевские чтения) в 2022 году; Всероссийская научно-практическая конференция «Агропромышленный

комплекс: проблемы и перспективы развития», организованная ФГБОУ ВО «Дальневосточный ГАУ» в г. Благовещенске, проходившая с 2023 по 2024 год; Международная научно-практическая конференция, посвященная 70-летию Д.Н. Раднаева, доктора технических наук и профессора кафедры «Механизация сельскохозяйственных процессов», организованная ФГБОУ ВО «БГСХА имени В.Р. Филиппова» в 2023 году.

Реализация результатов исследований. В хозяйствах Республики Бурятия введены сошники с прикатывающим катком и рыхлителем для посева зерновых культур: ООО «ВИСТА» в Бичурском районе, СПК «Ульдурга» в Еравнинском районе, СПК «Колхоз Искра» в Мухоршибирском районе (Приложения VIII, IX, X).

Вклад автора в проведенном исследовании. Проведено исследование, касающееся механизации сельского хозяйства, агротехнических подходов, а также изучена адаптация посевных машин с рядковым прикатыванием и рыхлением в контексте эффективности применения данной технологии. Сформулированы теоретические принципы для улучшения конструктивных и эксплуатационных характеристик сошников, оснащенных прикатывающим катком и рыхлителем. Проведены экспериментальные испытания машинно-тракторного агрегата с новаторской сеялкой, разработаны методики и программа их выполнения. Принимала участие в проектировании и создании сошника, оборудованного прикатывающим катком и рыхлителем.

Публикации. В ходе диссертационного исследования было опубликовано 17 научных работ: 5 статей в журналах, включенных в перечень ВАК, 9 статей в изданиях, индексируемых РИНЦ, и получено 2 патента Российской Федерации на полезную модель.

Структура и объём работы. В работе представлены введение, 5 основных глав, заключение, библиография и приложения. Общий объём работы составляет 160 страниц, в том числе 26 таблиц, 52 иллюстрации и 10 приложений. Литературный список состоит из 135 источников, из них 9 на иностранных языках.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Агротехнические требования к посеву, прикатыванию и их анализ

В земледельческой науке и практике накопилось большое количество экспериментальных факторов, которые учитываются при проектировании новых технологических процессов и рабочих органов. В настоящее время в связи с автоматизацией проектирования возникла острая необходимость применения накопленного опыта и построения методологических аспектов проектирования технологий, раскрывающих основные закономерности проектного процесса.

Постоянное совершенствование технологий, конструкций сельскохозяйственных машин, интенсификация режимов их работы с одновременным улучшением качества выполнения рабочих процессов существенно усложняют методы расчета структуры и параметров машин при их конструировании. При этом большое значение имеют опытно-конструкторские методы и испытания опытных образцов машин в полевых условиях. Однако данная методика неэффективна, ибо при создании сельскохозяйственной техники возникает необходимость экспериментирования от сезона к сезону, что связано с большими затратами труда, времени и средств.

Поэтому возникает необходимость проектирования технических процессов с целью выявления их эффективности. В связи с этим применение методов синтеза технологических процессов на основе характеристик обработки почвы, посева и производственной системы хозяйства, в условиях которой необходимо реализовать проектируемый технологический процесс, является актуальным.

Большое разнообразие машин и агрегатов для обработки почвы, посева и различный набор рабочих органов в них приводит к тому, что проектирование технологических процессов представляет собой сложную, многовариантную задачу. Исходными данными для ее решения служит задание функции технологического процесса, то есть обработка почвы с нуля до засеянного поля на конкретной площади возделывания. Техническими ограничениями, определяющими допустимые варианты технологического процесса, выступают

применяемые в хозяйстве прогрессивные методы обработки почвы, состав сельскохозяйственной техники и его техническая характеристика, набор универсальных, типовых рабочих органов, множество основных и вспомогательных материалов.

Для решения таких сложных задач необходимо применение методологии системного подхода. Системный подход исходит из того, что специфика сложных объектов и процессов не исчерпывается особенностями составляющих его частей и элементов, а заключена в характере связей и отношений между ними. Одним из общих способов решения задачи на начальной стадии технологического проектирования в области машиностроения является многоуровневый итерационный метод, позволяющий проектировать дискретные технологические процессы и сложные объекты за счет расчленения на несколько взаимосвязанных уровней, характеризующихся последовательно возрастающей от уровня к уровню степенью детализации проектных решений.

Предлагаемый метод выбора рациональных решений можно использовать при формировании адаптивных технологий возделывания зерновых культур. Однако специфика технологии и отсутствие технических средств по выполнению отдельных операций требуют модернизации предлагаемого метода. Качественная сторона сложных систем обусловлена их структурой, под которой понимается совокупность устойчивых отношений между частями целостного объекта или процесса. Целостность при многоуровневой декомпозиции процессов проектирования состоит в следующем. Проектирование дискретных технологических процессов и сложных объектов расчленяется на несколько взаимосвязанных уровней, характеризующихся последовательно возрастающей от уровня к уровню степенью детализации проектных решений.

В технологии производства зерновых культур одной из важнейших операций является посев. В равномерном распределении посевного материала по глубине заделки и площади питания – потенциальное повышение урожайности, снижение ресурсных затрат и стоимости конечной продукции. На современных посевных агрегатах используются различные сошники, от выбора которых во

многим зависит судьба урожая. Сошник представляет собой систему, состоящую из комплекса отдельных конструктивных и технологических признаков, связанных между собой. Поэтому усовершенствование традиционных и конструирование инновационных элементов высевальных аппаратов становится актуальной проблемой.

Посевные машины должны обеспечивать наиболее благоприятные условия для развития растений с полным использованием света, влаги, тепла и питательных веществ. Для этого необходимо равномерно распределить семена по площади поля.

Нарушение агротехнических правил при посадке ведет к снижениям в урожайности и увеличению сопутствующих затрат. В своей работе Бадмацыренов Д.-Ц.Б. «для достижения этого рекомендовал важно соблюдать агротехнические требования:

1. сеять в оптимальные сроки для каждой культуры;
2. для равномерного развития растений нужно распределить семена равномерно по всей площади поля и на одинаковую глубину;
3. семена следует размещать на влажный и уплотненный слой почвы, покрытый рыхлой, влажной почвой;
4. количество засеянных семян должно быть стабильно» [11].

В основном и смежном с ним слоях должно находиться не менее 80% от общего числа семян. Ключевое условие – равномерное заглубление семян. При глубине от 3 до 8 см слой должен иметь толщину в 1 см. Если посадить семена слишком глубоко, это может замедлить их прорастание, а более слабые семена могут не взойти вообще.

Для того чтобы мелкосемянные культуры успешно взошли, нужны благоприятные внешние условия, включая влагу, температуру, освещение, воздух и физически активные вещества. Всхожесть семян зависит от содержания влаги, набухания семян, поглощения кислорода и стимуляции развития клеток зародыша [1].

В почве создаются условия для равномерного распределения влаги и

питательных веществ, что способствует более эффективному прорастанию семян и развитию растений. Структура почвы, состоящая из системы каналов и пор, способна поднимать воду из глубоких слоев почвы к поверхности. Если почва поверх семенного ложа разрыхлена, то капиллярная структура нарушается, что предотвращает потерю влаги в результате испарения. Это обеспечивает достаточное количество влаги для питания семян и повышает вероятность успешного их прорастания [3].

Для обеспечения данных условий требуется создать сеялку с определенными конструкционно-технологическими характеристиками.

В предыдущем веке исследователи Д. Гуль и Д. Кук провели эксперимент, в результате которого было установлено, что изменение глубины посадки семян оказывает отрицательное влияние на прорастание семян и урожайность. Их научные выводы показали, что отклонение глубины посева пшеницы всего на 1 см снижает урожайность на 11-12%. При отклонении в 2,5 см урожайность снижается на 25-30%. Для получения максимального урожая необходимо при посеве соблюдать оптимальную глубину заделки [52].

По мнению С.В. Кардашевского, чем равномернее заделаны семена на определенной глубине, тем выше вероятность их прорастания, что способствует увеличению разнообразия всходов. Поэтому важно регулярно и равномерно заделывать семена для обеспечения оптимальной вариативности всходов [58].

Размещение семян в рядах шириной от 5 до 7 см помогает уменьшить перенасыщенность посевов на единицу длины ряда. Этот подход способствует равномерному размещению растений на участке, что приводит к повышению урожайности. Метод разбросного посева предполагает случайное распределение семян по земельному участку путем их рассеивания. Для этого используются оригинальные сеялки, которые рассеивают семена равномерно по полю. Этот метод способствует равномерному разрастанию растений, что особенно важно при посадке на участках с неоднородной почвой или сложным рельефом. Оба указанных способа успешно решают проблему чрезмерного скопления семян на одном участке ряда, обеспечивая более равномерное рассеивание семян по всей

области посева. Выбор конкретного метода определяется состоянием почвы, видов растений и наличием технических средств для его реализации.

Согласно научным исследованиям, форма площади, на которой произрастают зерновые культуры, не играет ключевой роли. Растения зерновых культур не имеют определенного направления роста, поэтому они способны эффективно поглощать питательные вещества и ресурсы, независимо от формы площади, на которой они выращены. Чтобы обеспечить наилучшие условия для развития растений, следует равномерно рассеивать семена по всей поверхности поля. Это способствует избежанию перенасыщения и уменьшает борьбу между растениями за ключевые ресурсы, включая солнечный свет, воду и питательные вещества. Равномерное распределение семян способствует равномерному созреванию урожая и упрощает процесс уход за культурными растениями.

Разные методы организации участков для возделывания зерновых культур могут влиять на их продуктивность. На урожайность оказывает влияние множество факторов, среди которых находятся экологические условия, сорт культуры, а также методы агрономической обработки почвы и ухода за растениями. Основные условия успешного выращивания зерновых – это наличие достаточного количества света, влаги, тепла и необходимых элементов для роста. При соблюдении этих требований, независимо от формы участка для выращивания, урожайность зерновых культур должна оставаться стабильной.

Множество факторов определяет оптимальную глубину посева, поэтому специалисты в сельском хозяйстве рекомендуют учитывать особенности природы, климата и технологии в конкретном регионе. Результаты исследования С.А. Ма [72] свидетельствуют о том, что для успешных всходов проростков пшеницы в Среднесибирском Черноземье оптимальная глубина посева составляет 6-8 см. Важную роль играет также наличие достаточного количества влаги, способствующей прорастанию семян. Посев в тяжелую заплывающую почву может увеличить риск глубокой заделки и низкого процента всходов. Поэтому необходимо учитывать местные условия и данные о погоде для определения оптимальной глубины посева и обеспечения успешного

прорастания семян.

Общее отклонение количества семян от необходимой нормы не должно превышать 3%. Поэтому для достижения необходимой дозы семян и соблюдения установленных норм необходимо учитывать изменчивость среднего количества семян и проводить посев в зависимости от условий окружающей среды, таких как годовое количество осадков и влажность почвы.

Активное использование уплотняющих технических средств является необходимым элементом современного сельского хозяйства, обеспечивая наилучшие условия для достижения успешного роста и развития растений. Сельскохозяйственные производители могут значительно сократить время между посевом и уборкой урожая благодаря применению современных технических средств, улучшающих плотность посадки, позволяющих более эффективное управление процессом возделывания культур, что имеет важное значение для сельского хозяйства, поскольку оно обеспечивает контроль за процессами уплотнения почвы. Этот аспект является ключевым в эффективном выращивании сельскохозяйственных растений и его значение нельзя преуменьшать.

Для достижения оптимальной плотности и прочности каштановой почвы необходимо принимать в расчет глубину обработки, разнообразие используемых методик и оборудование. Эти параметры могут быть скорректированы исключительно во время обработки почвы. Плотность каштановой почвы может варьироваться от 1,55 до 1,57 г/см³, для предотвращения дробления требуется сопротивление от 28,1 до 30 кг/см². Плотность насыпной массы во время вегетативного периода может варьироваться от 1,40 до 1,48 г/см³. Многократные проходы агрегатов приводят к ее уплотнению и уменьшению воздушных пор на уровне 10,7 – 11,2%, что способствует увеличению прочности в 2,5 – 2,7 раза по сравнению с характеристиками природного уплотнения [21].

Ускорение усадки почвы за счет функции катков обеспечивает более плотное прилегание семян и повышает эффективность всходов растений. Актуальные агротехнологии нацелены на эффективное использование времени

и ресурсов, и важное значение в этом процессе имеют катки, которые демонстрируют инновационное сочетание посевных операций с уплотнением почвы. Использование функции катков при посеве позволяет значительно сэкономить время и средства. Этот метод является эффективным в современных технологиях сельского хозяйства, так как он обеспечивает более быструю усадку почвы и уменьшает затраты времени.

Применение кольчатого катка на уже обработанных после посева участках значительно повышает продуктивность пшеничных культур (на 1,0-2,2 ц/га). Данный метод приводит к уплотнению почвы, что способствует более изреженному посеву. Более того, прикатывание посева с помощью кольчатого катка помогает снизить риск эрозии почвы. Уплотненная почва более устойчива к эрозии, что уменьшает вероятность смыва почвы водными потоками.

Также температурная зависимость отдельных слоев почвы имеет важное значение для увеличения урожайности. Колебания температуры и потери тепла в почве могут оказать влияние на процессы роста и развития растений. Поэтому правильное регулирование температуры почвы может способствовать улучшению условий для роста растений и увеличению урожайности.

Уплотнение почвы имеет определенное значение в аграрном секторе, усовершенствуя водно-физические свойства и плодородие почвы и способствуя формированию наилучших условий для выращивания различных сельскохозяйственных культур.

Согласно данным, весенние засушливые почвы в Бурятии создают благоприятные условия для повышения урожайности культур, включая пшеницу, яровую рожь, овес, кукурузу и другие. Рост объёмов сельскохозяйственного производства способствует повышению урожайности и, следовательно, это прозвучало как увеличение доходов для сельскохозяйственных производителей.

В Бурятии в весенне-летний сезон с сухим и прохладным климатом отмечается уплотнение верхнего слоя каштановых почв, сохранение влажности, обеспечение более благоприятных условий для развития и питания растений в

почве представляет собой основной способ, содействующий повышению урожайности различных сельскохозяйственных культур [20].

Исследование В.Д. Бокова показывает, что уплотнение почвы с помощью прикатывания способствует улучшению водного режима, что, в свою очередь, повышает влажность в зоне, где находятся семена, и создает более благоприятные условия для их развития и роста. Кроме того, уплотнение почвы способствует восстановлению капиллярной активности, что ускоряет движение воды к семенам. В результате этого процесса вода поднимается из глубоких слоев почвы, обеспечивая оптимальный уровень влажности для прорастания семян. Благодаря быстрому перемещению влаги к семенам, их прорастание и развитие происходят более успешно [17].

Исследователями было отмечено, что обстоятельства, связанные с физическими условиями, технические аспекты возделывания яровой пшеницы играют ключевую роль в увеличении урожайности [15, 24, 39, 40]. Процесс выращивания сельскохозяйственных культур предполагает различные приемы агротехники, которые способствуют регулированию условий окружающей среды для растений. Изучены и проведены исследования, чтобы определить оптимальные условия для возделывания яровой пшеницы. Фотосинтез является главным способом питания для растений и имеет огромное значение для урожая. Эффективность фотосинтеза зависит от продолжительности благоприятных условий, размера поверхности листьев, методов посева и накопления сухих веществ. Исследования показали, что использование органических и смешанных органических и минеральных удобрений оптимально стимулирует увеличение площади листьев и способствует повышению урожайности.

Имеется ряд причин, по которым яровые хлеба не могут проявлять собственную способность к размножению. Это может быть вызвано различными факторами, плотное посевное деление возникает из-за неэффективной агротехники, что может негативно отразиться на росте и развитии растений, если растения посеяны слишком близко друг к другу.

Равномерное распределение растений в рядах на плодородной почве

приводит к увеличению плотности посева. Особенно эффективно это проявляется при точном посеве озимой пшеницы на плодородных участках, где плотность посева может увеличиться на 60-130% и превысить 180-200 кг/га.

Ее основной принципиальной особенностью являются введение операции сопоставления каждого измеряемого показателя с соответствующим требованием агротехники. Первичный материал результатов измерения (ведомость) должен содержать запись, констатирующую выполнение или невыполнение агротехнических требований по данному показателю:

- оценка качества размещения на поверхности и заделки в почву высеваемых семян (удобрений) не только отдельными сошниками, не идущими по следу колес трактора, сцепки и сеялки, но сеялкой в целом, включая и те сошники, которые в силу конструктивных особенностей машины или посевного агрегата вынуждены заделывать высеваемые материалы в почву, предварительно уплотненную колесами трактора, сцепки или сеялки;

- введение показателей, характеризующихся определенной физической величиной, устраняет возможность появления систематических ошибок и других погрешностей измерений. Анализ природы измеряемых физических величин и характера их изменения позволяет применять методы статистического моделирования и получать вполне определенные «точечные и интервальные» оценки распределения измеряемых показателей. Употребление общепринятых физических и статистических терминов устраняет вероятность разночтения, присущую терминологии, используемой в ныне действующих методах испытания посевных машин;

- замена многочисленных косвенных оценок непосредственными прямыми оценками выполнения конкретных требований агротехники.

При оценке высевальной способности сеялок, глубины заделки семян, плотности почвы в зоне расположения семян, неровностей поверхности почвы после прохода сеялки и выноса влажной почвы на поверхность в предлагаемой методике агротехнической оценки базой для отсчета отклонения и построения допусков на отклонения этих показателей служат не средние фактические, а

заданные расчетные значения и пределы отклонений.

Для оценки качества работы высевяющих аппаратов зерновых сеялок в настоящее время используют показатель неравномерности высева семян. В агротехнических требованиях допустимая величина этого показателя составляет $\pm 3 \%$. Данное значение не имеет достаточного агротехнического обоснования и выбрано, в основном, применительно к катушечному высевяющему аппарату с целью контроля качества изготовления сеялок. Неравномерность высева различными высевяющими аппаратами, а следовательно, и сошниками зерновых сеялок можно представить как изменение нормы высева в каждом засеянном рядке в большую или меньшую сторону. Таким образом, площадь питания и ее форма для одного растения в каждом засеянном рядке разные. Следовательно, условия жизни растений в рядках неодинаковы. Однако урожай с единицы площади – не арифметическая сумма урожаев отдельных растений, а урожай всего растительного покрова на данной посевной площади. Важной биологической и агрохимической особенностью новых культур является их способность к кущению. Это серьезный фактор, значительно корректирующий норму высева, площадь и форму площади питания зерновых колосовых культур. Агротехническая оценка – самый ответственный, определяющий этап испытаний посевных машин. Методика определения показателей качества работы посевных машин в первую очередь должна устанавливать их соответствие агротехническим требованиям. Агротехническая оценка должна давать конкретный ответ о пригодности испытываемой машины для выполнения принятой технологии посева, то есть о соответствии фактического посева требованиям по размещению на площади и заделке в почву высевяемых семян и вносимых удобрений [96].

Непосредственная оценка выполнения конкретных требований агротехники с выбором в качестве базы для их отсчета уровней, указанных в агротехнических требованиях, способствует существенному повышению достоверности и конкретизации выводов по результатам измерений каждого показателя.

При использовании так называемых пороговых измерений соответствие агротехническим требованиям устанавливается фиксированием факта нахождения определяемой величины при каждом ее измерении в интервале одностороннего или двустороннего агротехнического допуска по принятой доверительной вероятности. В результате отпадает необходимость в каких-либо вычислениях, появляется возможность оперативного устранения нарушения регулировок и своевременного учета грубых производственных дефектов, вызывающих существенное изменение измеримого показателя, т. е. становится возможным исключение воздействия неконтролируемых факторов на результат измерения.

Использование при данном методе агротехнической оценки пороговых измерений не требует высокой технической квалификации экспериментатора, существенно повышает точность измерений, увеличивает производительность измерительных работ, обеспечивает статистическую надежность и обоснованность выводов и заключений по результатам агротехнической оценки посевных машин.

Практически доказано, например, что в каждой повторности отклонения в высеве как отдельными, так и всеми аппаратами от среднего значения можно аппроксимировать нормальным законом распределения.

Табулированная функция Лапласа $\Phi_0(x)$ дает значение половины площади под колоколообразной кривой нормального распределения, поэтому при нормировке следует умножать площадь на 2. Если интервал симметричен относительно среднего, то для вероятности $P_{0,95}$ получаем (1.1):

$$P = 2\Phi_0(\varepsilon/\sigma). \quad (1.1)$$

Известно, что при нормальном законе распределения между среднеквадратическим отклонением σ и средним абсолютным отклонением ε существует определенная зависимость (1.2):

$$\sigma = 1,25\varepsilon, \text{ см.} \quad (1.2)$$

Также известно, что принятой вероятности $P_{0,95}$ соответствуют отклонения, не превышающие 2σ . Предельные отклонения $\Delta_{0,95}$, соответствующие этой

вероятности, можно определять, используя равенство (1.3):

$$\Delta_{0,95} = \pm 2\sigma = \pm 2,5\epsilon, \text{ см} \quad (1.3)$$

Эквивалентные допуски на отклонения измеряемых показателей при каждом их определении в 2,5 раза больше допусков на средние отклонения от средних, с помощью которых в ранее действующих агротехнических требованиях, например, оценивали качество распределения по площади и равномерность заделки на заданную глубину высеваемых семян и удобрений. При разработке новых агротехнических требований учитывали, что в ранее действовавших агротехнических требованиях допуски на некоторые показатели, например, на неравномерность посева между отдельными аппаратами, были выше фактических отклонений. Поэтому допуски на отклонение в посеве были скорректированы по фактическим отклонениям посева высевающими аппаратами лучших производственных сеялок.

Разработка агротехнических требований с указанием контрольных допусков на показатели качества работы посевных машин и новых методов агротехнической оценки позволяет существенно упростить комплекс агротехнической оценки посевных машин, повысить точность измерений и достоверность выводов по результатам испытаний [96].

Как полагает ученый Иванов П.К., «оптимальное значение плотности почвы для достижения максимального урожая яровой пшеницы в процессе выращивания составляет 1,3 г/см³, что является наивысшим показателем» [55] (таблица 1.1).

Таблица 1.1 - Влияние плотности почвы на урожай яровой пшеницы

Плотность, г/см ³	Высота растений, см	Вес растений, г
0,8	48,4	123,2
1,0	51,8	159,0
1,2	54,4	197,0
1,4	44,7	158,5

Одним из значимых свойств рыхлой почвы является ее хорошая

воздухопроницаемость. Это позволяет корням получать необходимый доступ к кислороду, что является ключевым фактором для здорового роста и развития растений. Если почва слишком плотная и не обеспечивает достаточной воздушности, это может негативно сказаться на прорастании и развитии семян [94].

По мнению Н.А. Ламана [68], для обеспечения оптимальных условий для роста семян необходимо поддерживать оптимальную плотность почвы в пределах от 0,95 до 1,1 г/см³. Для успешного прорастания семян необходимо создать рыхлую почву, исключая ее уплотнение, только в таких условиях семена смогут свободно прорасти.

Неравномерное распределение влаги в различных глубинах почвы может вызвать неравномерный рост семян и растений. Если влага быстро испаряется из верхних слоев почвы, это может препятствовать успешному прорастанию семян и замедлить рост растений, что негативно сказывается на урожайности. Высокая теплопроводность может также оказать влияние на размещение семян, вызывая изменения в температуре, которые могут негативно сказаться на процессе прорастания и росте растений. Поэтому важно учитывать различные аспекты, которые могут повлиять на урожай, при анализе семян на качество.

В условиях Бурятии на легких каштановых почвах основным фактором испарения почвенной влаги является интенсивная теплопроводность вследствие неодинаковой влажности по глубине, то есть уплотнение поверхности почвы выступает наиболее действенным приёмом сохранения почвенной влаги. Уплотнённая поверхность почвы приводит к ускорению процесса нагрева посевного слоя, что ведёт к наиболее полному использованию весеннего запаса почвенной влаги и получению дружных и полных всходов [102].

1.2 Особенности технологии посева в засушливых степях Забайкалья

Для повышения урожайности зерновых культур необходимо применение ресурсосберегающих технологий, которые позволяют добиваться агротехнических требований равномерности распределения семян по глубине

заделки и площади питания. От соблюдения этих требований в значительной мере зависит быстрое и дружное появления всходов семян. В Забайкалье важное место в создании условий, обеспечивающих высококачественный посев семян, их прорастание в почве, рост и развитие растений в начальный период вегетации, отводится прикатыванию. Такой агротехнический приём, в особенности послепосевное прикатывание, следует рассматривать как наиболее важный в создании гидротермического, микробиологического и питательного режимов почвы. Поэтому при широком внедрении ресурсосберегающих и минимальных технологий роль рядкового прикатывания особенно возрастает. В настоящее время существуют различные конструкции сошников, и для рядкового прикатывания используется большое количество катков с различными параметрами, формами, рабочими поверхностями. Однако конструкции сошников и катков в одних регионах оказываются неэффективными для почв других регионов. Поэтому вопросы эффективности рядкового прикатывания посевов при минимальной обработке почвы и рациональной конструкции катка, обеспечивающей качественную заделку семян и оптимальные условия для роста и развития растений, применительно к отдельным природно-климатическим зонам требуют широкой экспериментальной проверки [94].

На сегодняшний день земледелие Забайкалья обладает обширным опытом, подтверждающим ценность от ведущих аграрных специалистов. В условиях засухи выращивание культур в парах, способствуя сохранению влаги в почве, обогащает её питательными веществами и помогает в борьбе с сорной растительностью [10, 12].

Однако, несмотря на разнообразие способов обработки почвы, не всегда удается добиться существенного улучшения роста семян. Весной и летом почва часто пересыхает, что затрудняет правильный рост растений.

1.3 Обзор методов посева и их механизированная реализация

В данный момент создается инновационная методика для посева с главной задачей установить идеальные условия для роста и развития семян, максимально

эффективно использовать питательные вещества и обеспечить их правильное размещение на определенном расстоянии друг от друга. Это привело к созданию множества различных методов посева, которые стали популярными и повсеместно применяются: разбросной, рядовой с междурядьем 15 см, узкорядный с междурядьем 7,5 см, перекрестный, безрядковый, точный однозерновой.

Судя о комбинированных почвообрабатывающих агрегатах, нельзя не отметить их более высокую «чувствительность» к районированию и изменению почвенных условий, чем орудий и машин, выполняющих отдельные операции, поскольку почвенные условия, оптимальные для одних рабочих органов, могут быть неблагоприятными для других. В зонах недостаточного увлажнения с легкими почвами, склонными к распылению, подверженными ветровой эрозии, рекомендуется применять агрегаты с пассивными рабочими органами.

Ни у кого не вызывает сомнения эффективность совмещения:

- 1) безотвального рыхления почвы с внесением минеральных удобрений и выравниванием;
- 2) рыхления и выравнивания почвы с измельчением растительных остатков, мульчированием ими поверхности и прикатыванием.

Для современных ресурсосберегающих технологий необходима техника нового поколения, способная обеспечивать заметное ресурсосбережение. СПК «Колхоз Искра» Мухоршибирского района Республики Бурятия является одним из передовых и крупных хозяйств, где используется почвообрабатывающая техника нового поколения. Примером таких машин могут служить агрегаты почвообрабатывающие дисковые серии «Ермак»: АПД-7,2 и АПК-7,2, которые были апробированы в условиях данного хозяйства. Эти почвообрабатывающие дисковые агрегаты выполняют примерно одинаковые операции.

АПД-7,2 – агрегат почвообрабатывающий дисковый шириной захвата 7,2 м. Назначение. Обработка паров, предпосевная обработка почвы под яровые и озимые культуры, обработка полей после высокостебельных пропашных культур и трав, а также основная обработка стерневых полей. Применяется в

системе почвозащитного земледелия, где ведущим фактором предотвращения дефляции почвы является сохранение стерни и растительных остатков на поверхности поля.

Таблица 1.2 – Техничко-экономические показатели культиватора

Показатели	Значение
Торговая марка машины	АПД-7,2
Тяговый класс трактора	5
Тип агрегатирования машины	Прицепной
Конструктивная ширина захвата, м	7,4
Скорость, км/ч:	
транспортная	20
рабочая	10,29
Дорожный просвет, мм	300
Материалоемкость, кг/м	528
Число:	
культиваторных лап	21
рядов лап	3
секций катков	8
Минимальный радиус поворота агрегата, м	13,8
Пределы регулирования рабочих органов по глубине, см	0-18
Тяговое сопротивление, кН/м	4,2
Угол поперечной статической устойчивости	31°
Габаритные размеры в транспортном положении, мм	6650x4260x3300
Масса машины, кг	4000
Регион испытаний	Республика Бурятия
Вид работы (испытания)	Предпосевная обработка
Марка трактора	К-701
Мощность трактора, л.с	270
Трудоемкость составления агрегата, чел.-ч	0,08
Глубина обработки, см	8,6
Сменная производительность, га/ч	5,3
Подрезание сорняков, %	100
Крошение почвы, %	80,8
Гребнистость поля, см	1,6
Удельный расход топлива, кг/га	5,46
Затраты труда, чел.-ч/га	0,189
Цена машины без НДС, тыс. руб.	630
Часовые эксплуатационные затраты машины, руб	901
Вклад машины в себестоимость работы агрегата, руб/га	170,1

АПД-7,2 – агрегат почвообрабатывающий комбинированный шириной захвата 7,2 м. Назначение: уход за парами, предпосевная подготовка почвы, рыхление почвы под зябь, обработка старопахотных земель [93].

Таблица 1.3 – Техничко-экономические показатели культиватора

Показатели	Значение
Торговая марка машины	АПК-7,2
Тяговый класс трактора	3-5
Тип агрегатирования машины	Полуприцепной
Конструктивная ширина захвата, м	7,2
Скорость, км/ч:	
транспортная	20
рабочая	11,43
Дорожный просвет, мм	300
Материалоемкость, кг/м	604
Число:	
культиваторных лап	19
рядов лап	2
секций катков	4
заравнивающих дисков	9
Минимальный радиус поворота агрегата, м	15,6
Пределы регулирования рабочих органов по глубине, см	0-12
Тяговое сопротивление, кН/м	4,12
Угол поперечной статической устойчивости	34°
Габаритные размеры в транспортном положении, мм	6630x4300x3370
Масса машины, кг	4070
Регион испытаний	Республика Бурятия
Вид работы (испытания)	Предпосевная обработка
Марка трактора	К-701
Мощность трактора, л.с.	270
Трудоемкость составления агрегата, чел.-ч	0,1
Глубина обработки, см	9,9
Сменная производительность, га/ч	5,76
Подрезание сорняков, %	100
Крошение почвы, %	83,4
Гребнистость поля, см	1,4
Удельный расход топлива, кг/га	5,58
Затраты труда, чел.-ч/га	0,173

Цена машины без НДС, тыс. руб.	590
Часовые эксплуатационные затраты машины, руб.	844
Вклад машины в себестоимость работы агрегата, руб./га	146,6

В ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии разработан сошник для полосного посева, который можно использовать на разных типах почв и проводить посев при повышенной влажности. Данный сошник высевает семена не в строчку, а в полосу. При таком способе происходит повышение равномерности распределения семян по площади бороздки. Глубина заделки семян одинакова. Форма площади питания растений приближается к оптимальной. Благодаря тому, что семена высеваются на уплотнённое ложе, они более жизнестойки, и происходит более активный рост и развитие растений. Сошник для полосного посева оборудован колесом, дополнительно прикатывающим посева непосредственно после посадки. Это существенно экономит горюче-смазочные материалы, так как отсутствует дополнительная операция послепосевного прикатывания. Также не происходит переуплотнения почвы от многочисленных проходов тяжелой техники по полю. Таким образом, при использовании сошника для полосного посева происходит увеличение числа всходов на погонный метр, всходы отличаются жизнестойкостью, большей сопротивляемостью к заболеваниям, так как они прорастают на выровненной и уплотненной поверхности.

В Кубанском государственном аграрном университете имени И.Т. Трубилина был создан комбинированный однодисковый сошник зерновой сеялки. Сущность заявляемого изобретения состоит в том, что сошник изготовлен в виде набора из расположенных на одной оси ножа, выполненного в виде гладкого диска с заточкой по окружности, и семядавляющего элемента в виде цилиндрического диска. Причем гладкий и цилиндрический диски имеют разные диаметры, в передней части к ним примыкает семятукопровод со стойкой и наральником, закрепленными на тяге, имеющей возможность поворачиваться в вертикальной плоскости относительно поводка сеялки. При этом семятукопровод со стойкой и наральником снабжен в задней части окном для выхода

семян со стартовой дозой минеральных удобрений, закрепленным к нему уплотнителем семенного ложа, направителем семян и раструбом для тукопровода основной дозы минеральных удобрений в боковой части, соединенным с емкостью для основной дозы удобрений. Технический результат – повышение урожайности зерновых культур за счет комбинированного дискового сошника зерновой сеялки для одновременного посева с внесением основной дозы минеральных удобрений на большую глубину, чем семена. Достоинства комбинированного дискового сошника: создание плотного контакта семян с почвой обеспечивает подтягивание к ним почвенной влаги и тем самым повышение полевой всхожести; прорезание поверхности и нарезка узкой щели исключает забивание сошника растительными остатками, способствует накоплению влаги возле семян, обеспечивает свободное проникновение корешков в нижележащий горизонт и усвоение основной дозы удобрений; образование рыхлого надсеменного слоя почвы обеспечивает хорошую аэрацию и не препятствует выходу проростков на дневную поверхность, как это происходит при поверхностном прикатывании почвы; сбрасывание семян непосредственно под семявдавливающим диск обеспечивает более равномерное распределение их в рядке; рыхлая почва и пониженная влажность верхнего слоя создает неблагоприятные условия для семян сорняков в зоне рядка.

С целью усовершенствования технологического процесса посева семян в ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ разработан сошник с заделывающим устройством борозды. При движении сошника в направлении посева два диска сошника, установленные под углом друг к другу на корпусе, нарезают в почве борозду для семян и удобрений, при этом семена и удобрения попадают в воронку горловины корпуса сошника, затем через раструб поступают в трубу, выполняющую функции направителя семян и рыхлителя, далее из трубы семена и удобрения поступают через гаситель скорости семян в борозду, которая заделывается почвой благодаря установленному на задней части корпуса сошника заделывающему устройству, выполненному в форме пружинных пальцев.

Разработанный сошник с заделывающим устройством борозды позволит улучшить равномерность высева семян по длине рядка и глубине их заделки, что приведет к увеличению урожайности.

В ФГБОУ ВО «Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Р. Филиппова», г. Улан-Удэ были достигнуты определенные результаты в распределении семян по площади при посеве модернизированным дисковым узкорядным сошником. Модернизированный дисковый узкорядный сошник состоит из корпуса, двух дисков, профилеобразователя семенного ложа и рассеивателя семян. При работе сошника диски образуют две бороздки с междурядьем 6,5 – 7 см. Профилеобразователь, расположенный между дисками, формирует семенное ложе, сдвинув почву с междурядья к дискам на глубине заделки семян. Из семяпровода семенной поток поступает на рассеиватель 4 и распределяется в междисковом пространстве шириной 6 - 6,5 см. Представлены результаты планирования экспериментов по обоснованию оптимальных конструктивных параметров сошника, позволяющего проводить полосовой разбросной посев [86].

В практике сельскохозяйственного производства наиболее широкое распространение получил обычный рядковый посев с шириной междурядья 15 сантиметров, который существует уже около двух веков. К недостаткам данного способа посева следует отнести излишнее скопление семян на одном погонном метре рядка при довольно большом расстоянии между рядами. Попытки видоизменить этот способ в сторону большей равномерности размещения семян по площади привели к созданию узкорядного и разбросного способов посева зерновых колосовых культур.

Кроме того, различные организации предлагают свои рекомендации и дополнительные варианты посева для агрофирм.

На сегодняшний день производители сельскохозяйственных машин предлагают целый ряд сошников различного типа. Сошники серийно выпускаемых сеялок для посева зерновых культур в большинстве своём не в полной мере соответствуют агротехническим требованиям.

Таблица 1.4 – Современный технологический процесс посева зерновых культур с использованием разных типов сошника

Тип сошника	Практическое применение	Недостатки
Двухдисковый сошник	в отечественных сеялках: СЗ-3,6; СЗУ-3,6; СЗТЗ,6; СРН-3,6; СЛТ-3,6; СЗП-3,6, в иностранных: 5100 ("Case International", США); 8000 («John Deer», США); End Wheel ("Great Plains", США); ТС-4 («Hester», Вел); 40 Sex DJ 150 ("Ross", Чехия) и др.	- неравномерность заделки семян по глубине; - нет возможности уплотнения дна борозды.
Однодисковые сошники	в сеялках: СЗО-3,6; ЛДС-6; в иностранных: 424 ("Massey-Ferguson", США), ТС-3, СД-4 («Hestair», «Bamlett», Великобритания) и др.	- неравномерность заделки семян по глубине; - укладка семян на рыхлый слой почвы
Наральниковые сошники	в сеялках: СЗА-3,6; СЗЛ-3,6; СТС-2,1; СЗС-2,1; СЗС-9; СЗС-12; СК-3,6; КФС-3,6; СЗТ-3,6; в иностранных: CLF-600 («Nordsten», Дания); EV-1000 («Amazone», Германия); 32-row («Horwood Bagshaw», Австралия) и др.	Анкерные сошники: - требовательность к качеству подготовки поля; - отсутствие должного уплотнения дна борозды. Килевидные сошники: - необеспеченность необходимой глубины заделки семян, забивание растительными остатками. Стрельчатые лапы: - невозможность уплотнения дна борозды.
Сошники с прикатывающим катком	в сеялках: СЗП-3,6; СЗП-16; СТС-2,1; СЗС-2,1; СК-3,6; КФС-3,6; в иностранных: НСЗО («Great Plains», США); Versatile (Канада) и др.	

Сошник – это комплекс конструктивных и технологических признаков, таких как форма рабочего органа, угол вхождения в почву, конструкция семяпровода и его сечения, форма уплотнительного элемента, конструкция реборды, процесс высева, технологические операции, выполняемые им, угол атаки, скоростной режим, давление на сошник, форма бороздки и др.

Исследователями были предложены различные конструкции комбинированных сошников [32, 34, 35, 40].

Таблица 1.5 – Ретроспективный обзор конструкций под заданные технологические параметры (для уплотнения дна борозды)

Год	ФИО	Описание
1954	А. И. Беднов	Килевидный сошник и семявдавливающий каток
1971	Ф. Е. Аниферов	Двухдисковый сошник: два плоских диска с размещенным между ними килевидным уплотнителем дна борозды.
1978	Х. С. Гайнанов	Комбинированный сошник: стрельчатая лапа, направитель семян, вдавливающий каток, загортач.
1981	Т. С. Набиев	Однодисковый сошник, образующий борозду путем смятия почвы. Диск данного сошника имеет клиновидную форму обода.
1984	Г. Р. Муртазин	Однодисковый сошник, образующий борозду путем смятия почвы. Диск данного сошника имеет клиновидную форму обода.
1986	Г. Л. Сорока	Двухдисковый сошник с килевидным уплотнителем дна борозды
1994	М. К. Амирханов	Анкерно-дисковый сошник, из дискового ножа, анкера и вдавливающего катка
1996	А. А. Вишняков	Катково-сферический сошник, который состоит из дискового ножа, находящегося между двумя выпуклыми дисками.

В настоящее время основным направлением модернизации сошников является создание комбинированных рабочих органов для совмещения операций обработки почвы и посева. Также совершенствуются уже существующие, предлагаются новые материалы для их изготовления, изменяется конструктивное исполнение в целях повышения надежности и долговечности. Разные конструкции модернизируют такие недостатки, как – разуплотнение стенок и дна борозды, сформированной сошником; раскатывание семян по дну борозды и засыпание борозды до попадания в неё семян; попадание семян на вращающиеся диски сошника, приводящие к нарушению глубины заделки семян и равномерности распределения семян по длине борозды, а следовательно, и к снижению урожайности культуры.

Таблица 1.6 – Исследования технологического процесса

Автор	Тип сошника	Назначение
Фомин В. Н.	Однодисковый сошник с уплотнителем и демпфирующими устройствами	Для работы на скоростных режимах до 15 км/ч, обеспечивающими высокую равномерность распределения семян.

Мальмин Н. Г.	Двухдисковые сошники с пружинными пластинчатыми отражателями	Для равномерного распределения семян по глубине и предотвращения их выноса на поверхность при рабочей скорости 12...18 км/ч для посева на повышенных скоростях
Александровская А. Н.	Гофрированные диски сошника, входящие в зацепление друг с другом	Предотвращение прекращения вращения дисков
Канареке А. А.	Сошник с килевидным корпусом, прикатывающим катком между щек и специальной подвеской регулятора глубины	Укладывание семян по глубине в соответствии с агротехническими требованиями и обеспечение плотного контакта семян с дном бороздки, создания оптимальной плотности почвы семенного ложа (полевая всхожесть, повышается на 18%, а плотность всходов – на 25%).

Патентный поиск показал, что за последние 20 лет выдано несколько десятков патентов на усовершенствования и расширения функциональных возможностей сошников. Это подтверждает актуальность рассматриваемой проблемы и необходимость ее дальнейшего решения [86].

Таблица 1.7 - Перспективные направления совершенствования сошников зерновых сеялок

Патент	Устройство	Недостатки
Авторское свидетельство СССР № 1273006 А1, МПК А01С 7/20 Сошник / В. А. Насонов, М. С. Хоменко, В. А. Зырянов, И. И. Зайцев; опубл. 30.11.1986. Бюл. № 445	Корпус, два диска, установленных под углом друг к другу, и полозовидный нож. Диски расположены между щек полозовидного ножа с бороздообразователем и наральником килевидной формы	- увеличение сопротивление сошника при движении его в почве; - налипание на почвы и сгуживание почвы перед сошником.
Патент РФ № 2435356 С1, МПК А01С 7/20 (2006.01) Сошник / С. А. Ивженко, А. В. Перетяtko, А. Е. Сарсенов; опубл. 10.12.2011. Бюл. № 34	Корпус, поводок для крепления к раме, два плоских заостренных диска, направитель семян, чистик. Сошник снабжен фигурной пластиной из высокоизносостойкой стали, жестко закрепленной с помощью переходника к корпусу сошника.	- налипание почвы на фигурную пластину; - плохое уплотнение дна борозды; - сдвигание семян вдоль борозды; - нарушение равномерности распределения семян по глубине и длине борозды.
Патент РФ № 2224401 С1, МПК А01С 7/20 (2006.01)	Бороздообразующий диск на раме с поводком с	- осыпание почвы в борозду до того, как семена попадут

Сошник / С. А. Ивженко, Д. В. Боков, Е. Н. Плешков; опубл. 27.02.2004	расположенной нажимной штангой и пружиной, направителем семян с двусторонним чистиком, находящийся за бороздообразующим диском, запорный клапан, загортач ограничитель глубины хода сошника на раме за направителем семян.	на её дно; - нарушение глубины заделки семян; - забивание растительными остатками и почвой.
Патент РФ № 2427124 С1, МПК А01С 7/20 (2006.01) Сошник / В. В. Тумурхонов, Д. Н. Раднаев, И. Ф. Лобанов, С. Н. Прокопьев; опубл.27.08.2011. Бюл. № 24	Корпус и два диска, между дисками установлены пластина для образования горизонтального профиля семенного ложа и рассеиватель семян за ней	- попадание семян на диски сошника и вовлечение их во вращение вместе с диском; - нарушение равномерности подачи и распределения семян в борозде по глубине и по длине борозды.
Патент РФ № 2237396 С2, МПК А01С 7/20 (2006.01) Дискосовый сошник / В. Ф. Клюстер, Ю. В. Елагин, М. С. Чекусов; опубл. 10.10.2004	Два диска, вертикальный семянаправитель открытого типа и устройство для заделки семян.	- осыпание стенок борозды до попадания в неё семян; - нарушение равномерности распределения семян по глубине.

В результате обобщения материала сделан вывод, что одним из простых и эффективных способов повышения урожайности сельскохозяйственных культур является модернизация рабочих органов посевных машин, обеспечивающая снижение неравномерности глубины заделки семян и уплотнение дна бороздки. Одно из перспективных направлений усовершенствования заключается в дальнейшей разработке предмета исследований, рабочего процесса в границах традиционных технологических схем и принципах его взаимодействия со средой.

Комбинированные агрегаты из нескольких последовательно соединенных орудий, как правило, громоздки и металлоемки и лишь незначительно снижают затраты энергии по сравнению с отдельными орудиями. Комбинированные агрегаты из двух машин, из которых одна навешена на переднюю навеску трактора, а другая - на заднюю, несколько меньшей металлоемкости, удобны в эксплуатации и не имеют сложных устройств для присоединения.

В настоящее время наметились две тенденции создания комбинированных агрегатов: на базе рационального сочетания рабочих органов пассивного, а также полуактивного типа (ротационных бесприводных, вибрирующих и т.д.);

на базе сочетания активных и пассивных рабочих органов.

Первая группа операций, как указывалось, – это основная обработка почвы, посев, внесение удобрений и гербицидов. Совмещение основной обработки почвы с посевом считается, как правило, технологически целесообразным лишь в том случае, если основная обработка почвы производится без оборота пласта – специальными рыхлящими или плоскорежущими рабочими органами, а поверхностная обработка почвы выполняется на глубину посева с последующим прикатыванием.

Во вторую группу входят следующие операции: предпосевная обработка почвы, посев, внесение удобрений и гербицидов. Совмещение предпосевной обработки почвы, внесение минеральных удобрений и гербицидов, а также посева зерновых культур весьма перспективно.

В третью группу совмещающихся операций входит выравнивание поля, рыхление почвы, прикатывание и другие способы предпосевной обработки почвы. Агрегаты для одновременного выполнения предпосевной обработки почвы наиболее просты и надежны в эксплуатации. Они включают различные пассивные рабочие органы, применяемые для мелкой обработки почвы: дисковые батареи, лапчатые и зубовые рыхлители, катки и выравниватели.

В условиях огромных потоков информации, имеющей как специфический, так и общетехнический характер лицам, принимающим решения, сложно предвидеть будущее развитие техники в избранной области. Возникает необходимость использования достаточно общих инвариантных средств, базирующихся на данных конкретных разделах техники и методах эмпирического исследования. Особое значение приобретает анализ информационных источников, несущих значительные информационные нагрузки (патенты, технические статьи), но не содержащих традиционных числовых параметров, по которым лица, принимающие решение, оценивали ранее достоинства новых технических решений. Поэтому возникает необходимость оценки анализа инженерно-технической значимости таких информационных источников. В этих случаях возникает необходимость

применения методов эмпирического исследования, характеризующих техническую перспективность и конкурентоспособность новых технических решений на мировых рынках [93].

Существуют две модели комбинированных сеялок с рабочей шириной от 2 до 3 метров, а с прицепом – от 2,5 до 4 метров. Эта машина предназначена для точного внесения больших объемов минеральных удобрений финских и датских производителей (до 1,2 тонны на гектар). Устройство оснащено четырехрядной системой внесения семян и удобрений. Кроме того, оно обеспечивает подготовку семян к посадке, непосредственно сам посев, распределение минеральных удобрений и уход за растениями.

Иногда достижение требуемых результатов оказывается невозможным. Сложные механизмы не способствуют значительному увеличению производительности или снижению расходов на уход.

Секция для посева кукурузы Tru-Vi M-7000 от John Deer комплектуется отдельными сошниками дискового типа, опорными и прикатывающими катками. Исследования показали, что данные посевные секции обеспечивают точность заделки семян на 3-сантиметровую глубину в пределах 92-94%, что существенно превосходит производительность серийной модели СУПН-6, оснащенной сошником и опорным катком, которая высевает 69-80% семян. Однако увеличение точности посева не всегда способствует увеличению урожая кукурузы, однако делает конструкцию сеялки более сложной и тяжеловесной. Для определения оптимальных параметров посева кукурузы необходимо исследовать, как точность заделки семян и удобрений влияет на её урожайность.

С аналогичными проблемами сталкиваются и сеялки для зерновых культур. Применение пропашных сошников не обеспечивает требуемую плотность посева – 90% семян на глубину 1,5 см.

Даже при тщательной подготовке поля перед посевом лишь 39-57% семян достигают нужной глубины. В данном процессе решающую роль играют как распределение сеялок по глубине, так и их положение относительно рядков сошников. Модели точного посева, такие как ГС-23 из Германии, РСД-80 из

Англии и СЗ-3,6 из России, показывают аналогичные тенденции. Данное явление обусловлено множеством факторов, включая способы посадки семян, условия для прорастания различных сортов, методы обработки почвы и другие аспекты.

Благодаря коррекции агротехнических норм удалось сократить неравномерность посева зерновых с 4 до 2 – 3%. Для улучшения этого показателя необходима разработка новых сельскохозяйственных орудий по научно-исследовательским направлениям [124, 125].

Один из путей эволюции в области создания автоматизированной техники является совершенствование технологического процесса механизации сельскохозяйственной отрасли. Эта задача требует значительных усилий производства механизированной техники, которая осуществляется в соответствии с потребностями местных агропромышленных комплексов.

В ближайшее время возрастет интенсификация механизированных работ в сельском хозяйстве и резко повысится производительность труда механизаторов. Этот процесс будет сопровождаться ростом плотности механизированных работ на 1 га пашни, единичной мощности, а значит, и массы мобильных энергетических средств, производительности и массы технических средств. Уплотнение пашни при многократных проходах тракторов и комбайнов уже сейчас стало задачей, над которой работают многие ученые. В связи с этим проблема совмещения операций и создания комбинированных машин приобретает большое значение. В последние годы проведена значительная работа по агрономическому и технико-экономическому обоснованию технологии совмещения операций. Сегодня отечественные заводы по выпуску сельскохозяйственной техники совместно с конструкторами создали немало различных комбинированных машин и агрегатов для выполнения такой технологии.

Идея одновременного выполнения орудием или машиной нескольких логически оправданных технологических операций за проход по полю возникла очень давно. Но тогда многократные проходы простейших машин в конной упряжке по одному и тому же полю (хотя эти проходы сами по себе были

невыгодными) все же не влекли за собой заметных отрицательных последствий для состояния почвы и судьбы урожая [93].

Современные методики ландшафтных преобразований, улучшение почвенных характеристик и управление биологическими ресурсами становятся более действенными благодаря автономным инженерным системам. Планы аграрного технологического развития ориентированы на совершенствование земледелия в западных и восточных областях Сибири. Для того чтобы программа была реализована успешно, требуется разделение крупных корпораций на более мелкие фирмы, выпускающие сельскохозяйственное оборудование. Для прогресса в машиностроительной и агротехнической сферах в данном регионе необходимо учитывать рыночные исследования и запросы производителей.

Современная технология с модульной архитектурой даёт возможность задействовать автоматизированные, многоцелевые и универсальные системы. Одно и то же техническое средство пригодно для посадки, уборки, выращивания и полива самых разных зерновых растений. Региональные инициативы в области механизации следует объединять в эту передовую систему для увеличения продуктивности сельского хозяйства. Сохранение и оптимизация показателей агроэкологической системы региона при их создании являются обязательными условиями.

Анализ результатов исследований показывает, что на выполнение технологического процесса комбинированными машинами и агрегатами оказывают влияние многочисленные факторы: профиль поверхности поля, физико-механические и технологические свойства почвы, конструктивные и энергетические параметры и т.д. Для целенаправленного исследования технологического процесса нужна полная информация о факторах, влияющих на его выполнение. Применение обычных традиционных методов для этой цели оказывается неприемлемым, так как не позволяет выявить степень влияния каждого из факторов, оценить роль их взаимодействия и отыскать оптимальное сочетание. Поэтому дано обоснование применения метода планирования

эксперимента, позволяющего построить математическую модель технологического процесса, выполняемого комбинированным рабочим органом, который за один проход выполняет предпосевную обработку почвы, полосовой разбросной посев, внесение удобрений и прикатывание засеянных рядков. Указанная модель далее используется для решения экстремальных задач и отыскания оптимальных режимов и параметров работы рабочего органа.

В земледелии в основе ресурсосбережения лежит поиск путей снижения затрат производства продукции растениеводства через объединение и сокращение технологических операций на базе технических средств нового поколения на основе адаптивной интенсификации методов и приемов их возделывания с учетом эффективного использования природных возобновляемых ресурсов и гармоничного функционирования экологической среды [95].

1.4. Исследование устойчивости работы сошника по глубине укладки семян

По мнению Пяткина А.А., «угол отклонения параллелограммной подвески в вертикальной плоскости определяет стабильность движения комбинированного сошника. Применение уравнения Лагранжа второго порядка позволило получить уравнение, которое описывает синусоидальную зависимость отклонения угла φ параллелограммного механизма» [52].

$$\varphi = \frac{R_x l \cos \varphi_0 - R_y l \sin \varphi_0 - G l \sin \varphi_0 + R_x H_1 + \frac{R_x + F_p \sin \alpha_1}{2} H_2 - G b - \frac{-F_p \cdot \cos \alpha_1 \cdot \frac{2}{3} l \cos \varphi + R_{II} \cdot (e + 1 \cdot \cos \varphi)}{R_y l \cos \varphi_0 + R_x l \sin \varphi_0 + G l \sin \varphi_0} \cdot \left(1 - \cos \sqrt{\frac{R_y l \cos \varphi_0 + R_x l \sin \varphi_0 + G l \sin \varphi_0}{I_{II}}} t \right) \quad (1.4)$$

Зимина О.Г. в своих исследованиях выявила, что «после внесения данных угол отклонения параллелограммной навески в вертикальной плоскости φ составляет 3,5 градуса, что обуславливает перемещение сошника по вертикали к заданной глубине посева с отклонением ± 7 мм, соответствующее агротехническим требованиям для посева многолетних трав (рис. 1.1).

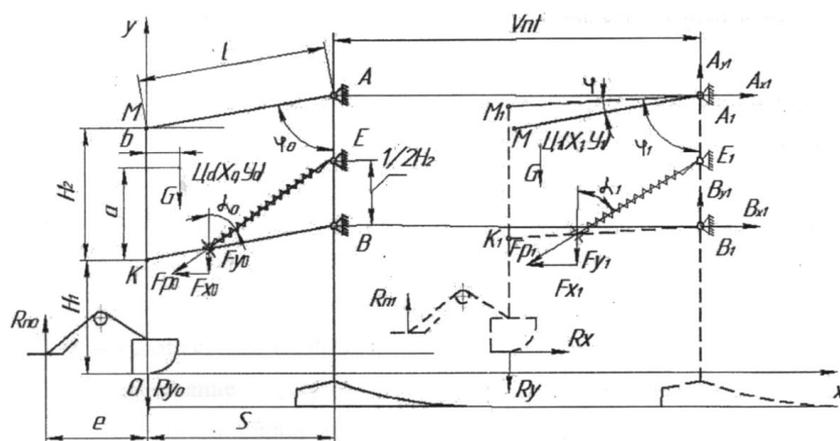


Рисунок 1.1. Схема системы сил, действующих на комбинированный сошник сеялки культиватора: R_x и R_y – силы сопротивления почвы; G – силы тяжести комбинированного сошника; F_p – силы давления пружины нажимной штанги или добавочного груза; X_i , Y_i

Исследование А.Х. Габаева направлено на анализ устойчивости глубины проникновения бороздообразующего дискового сошника в условиях повышенной влажности почвы (рис. 1.3).

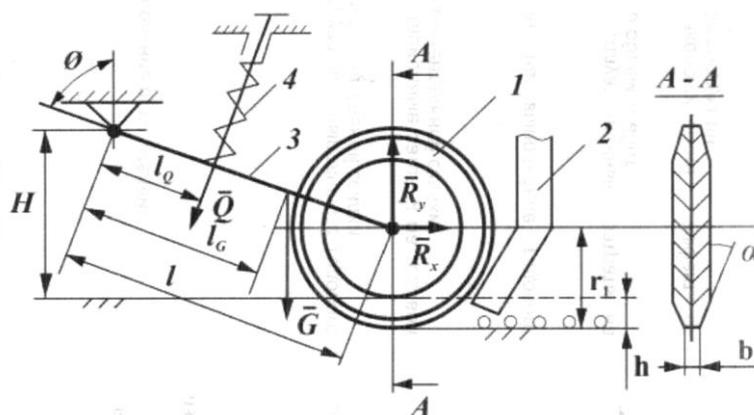


Рисунок 1.2. Схема сил, действующих на бороздообразующее устройство:

- 1 – бороздообразующие накладки, 2 – направитель семян, 3 – поводок,
4 – нажимная штанга с пружиной

Можно сделать вывод, что на сошник при его движении действуют определенные силы (см. рис. 1.2):

G – сила тяжести, Н;

R_x , R_y – вертикальная и горизонтальная реакция почвы на различные воздействия, Н;

Q – сила напряжения пружины, Н;

l , l_Q , l_G – расстояния от оси подвеса до точек приложения сил, м;

H – высота подвеса сошника, м;

h – глубина хода сошника, м;

φ – угол отклонения поводка от вертикального положения.

r_1 – радиус сошника, м

В этом случае форма глубины хода сошника имеет следующий вид:

$$h = l \cos \varphi - H + r_1. \quad (1.5)$$

При работе с сошником необходимо учитывать внешние условия, влияющие на изменение реакции почвы R_x и R_y , различия в твердости почвы и изменения высоты подвеса H зависящие от контура поверхности поля.

Габаев А.Х. выдвигает следующую гипотезу: представим себе $\varphi = \varphi_0 + \Delta\varphi$, где φ_0 – угол между вертикалью и линией поводка в равновесном положении. Будем считать, что $\Delta\varphi$ – отклонение сошника от положения равновесия. Ввиду малости $\Delta\varphi$ принимаем $\cos \Delta\varphi = 1$; $\sin \Delta\varphi = \Delta\varphi$.

Внесение корректировок в уравнение движения сошника и решение дифференциального уравнения с неизменными коэффициентами дают основания заключить, что при увеличении массы сошника и жесткости пружины его движение становится более устойчивым.

После корректировки первоначальных данных было сформулировано математическое уравнение:

$$h = h_0 - \Delta\varphi \sqrt{l^2 - (h_0 + H - r_1)^2}, \quad (1.6)$$

где h – глубина хода сошника в равновесном положении.

Затем определяли максимальную величину угла отклонения поводка:

$$\Delta\varphi_{max} = \Delta\varphi + \Delta\varphi_0 = \Delta\varphi + \frac{Q_0 - Q_{пр}}{l_0 k_{п}}, \quad (1.7)$$

где Q_0 – усилие сжатия пружины, необходимое для заглубления сошника на глубину h_0 , Н;

$\Delta\varphi$ – начальный угол отклонения поводка, град.;

$\Delta\varphi_0$ – угол, на который отклоняется поводок из положения статического равновесия;

Q_{np} – усилие предварительного сжатия пружины, Н;

l_0 – длина поводка, м;

$k_{п}$ – жесткость пружины, Н/м;

Как показали последующие исследования, из уравнения (1.6) можно сделать вывод о том, что $\Delta\varphi_{max}$ уменьшается с ростом Q_{np} . Согласно результатам исследований, для уменьшения колебаний сошника следует повысить силу сжатия пружины» [52].

Сарсенов А.Е. провёл исследование, в котором анализировалась устойчивость движения дискового сошника с применением прижимной пластины [108].

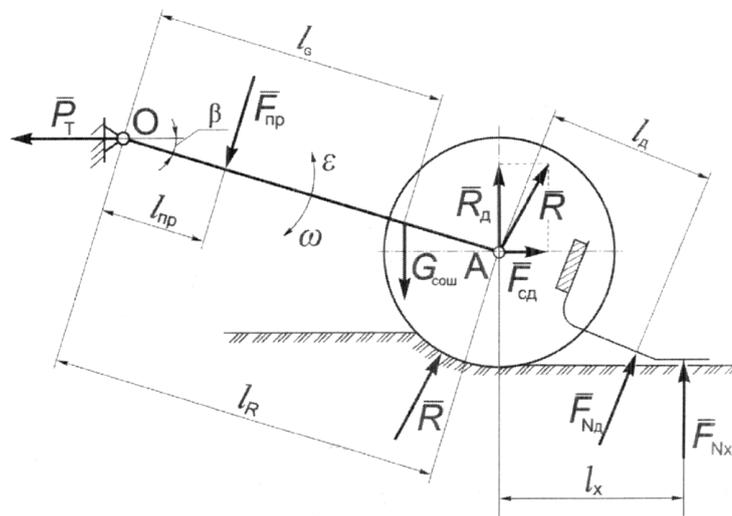


Рисунок 1.3. Схема к определению устойчивости хода сошника

Как считает Зимина О.Г., «критерием устойчивости движения сошника является стабильность угла наклона поводка β , что обеспечивается за счет уменьшения колебаний сошника. Поскольку процесс посева регулирует максимальную величину отклонения от глубины посева и максимальное значение функции $f(t) = \sin(\omega t - \psi)$ равно единице, выразим формулу для определения максимального значения отклонения глубины посева следующим образом:

$$\Delta y_{max} = \frac{(m_0\omega - k_4)y_1}{m_0\sqrt{(k_1 + k_2 + k_4 - m_0\omega^2)^2 + (c_1\omega)^2}}, \quad (1.8)$$

где k_1 – коэффициент пропорциональности изменения позиционной силы R ,

обусловленный действием почвы на сошник;

k_2 – отношение изменения позиционной силы к коэффициенту пропорциональности R , вызванный воздействием почвы на прижимную пластину;

k_4 – коэффициент механизма заглубления сошника;

c_1 – коэффициент демпфирования;

ω – угловая частота, c^{-1} ;

y_1 – амплитуда неровностей поверхности почвы, м;

m_0 – обобщенная масса системы» [52].

Сарсенов А.Е. также отмечает, что «на основе выявленных аналитических взаимосвязей были разработаны номограммы, которые используются для определения величины колебаний сошника y . В результате изучения устойчивости движения сошника при выполнении работ было выявлено, что применение прижимной пластинки снижает амплитуду колебаний сошника в вертикальной плоскости, что влечет за собой уменьшение неоднородности заделки семян по глубине на 5,7...16,5%» [108].

В исследовании были рассмотрены факторы, влияющие на поперечное движение сошника, принимая во внимание жесткость системы, массу компонентов и действующие силы. Также было выведено Зиминной О.Г. уравнение, «объясняющее движение рыхлительного зуба при колебаниях механизма:

$$y = Ae^{-nt} \sin(k_1 t + \alpha) + B \sin(pt - \beta), \quad (1.9)$$

где y – смещение рыхлительного зуба от его равновесного положения, м;

A – наибольшая амплитуда затухающих колебаний, м;

k_1 – круговая частота затухающих колебаний, c^{-1} ;

α – начальная фаза затухающих колебаний, рад;

B – амплитуда вынужденных колебаний, м;

β – начальная фаза вынужденных колебаний, рад.

Уравнение (1.9) описывает, как рыхлительный зуб комбинированного сошника отклоняется от прямолинейного направления движения, что важно для

правильной настройки параметров сошника. Это отклонение вызывает дополнительную нагрузку на сошник из-за колебательного движения, но также помогает равномерно распределить семена по полю.

Отметим, что уравнение 1.9 показывает синусоидальную зависимость отклонения рыхлительного зуба от его прямолинейного направления движения» [52].

1.4. Выводы по первой главе

1. Исследование конструкции сеялок и сошников, применяемых при посеве и внесении удобрений, показало, что главная направленность научных исследований сосредоточена на рассмотрении их рабочих характеристик и конструктивных элементов. В других научных исследованиях рассматривается проблема устойчивости сошника при отклонении поводка от вертикального положения.

2. Сарсенов А.Е., Пяткин А.А., Габаев А.Х. и другие создали математические модели, которые показывают, как угол наклона поводкового механизма подвески сошника влияет на равномерность заделки семян на определённую глубину. Этот результат соответствует агротехническим стандартам (± 1 см) по глубине погружения сошника, установленной в пределах от 6 до 8 см.

3. Одной из значимых задач продолжает оставаться определение аналитической зависимости, которая бы характеризовала устойчивость движения дискового сошника с прикатывающим катком и рыхлителем в условиях засушливых степей Бурятии, поскольку этот аспект ещё недостаточно изучен.

Цель исследования. Разработка комбинированного приема просева зерновых в почвенно-климатических условиях Бурятии и рабочего органа для его осуществления.

Задачи исследования:

1. Разработана математическая модель, характеризующая устойчивость движения сошника с прикатывающим катком и рыхлителем в вертикальной плоскости.
2. Получены закономерности для сохранения глубины заделки семян в зависимости от конструктивно-режимных параметров экспериментального сошника.
3. Обоснован новый агротехнический прием, конструктивная схема и режимные параметры усовершенствованного рабочего органа для посева зерновых культур.
4. Дана агротехническая, эксплуатационно-технологическая и экономическая оценка посевного агрегата с усовершенствованными сошниками.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО ДИСКОВОГО СОШНИКА

2.1 Выбор и обоснование конструкционно-технологической конфигурации дискового сошника для полосового посева

Конструкция сошника сеялки СЗУ-3,6 предназначена для посева сельскохозяйственных культур с междурядьем 7,5 см (рис. 2.1). Данный способ посева позволяет распределять семена по площади питания, близкой к оптимальной в виде круга или квадрата, а также более эффективно использовать площадь поля по сравнению с посевом с междурядьем 15 см.

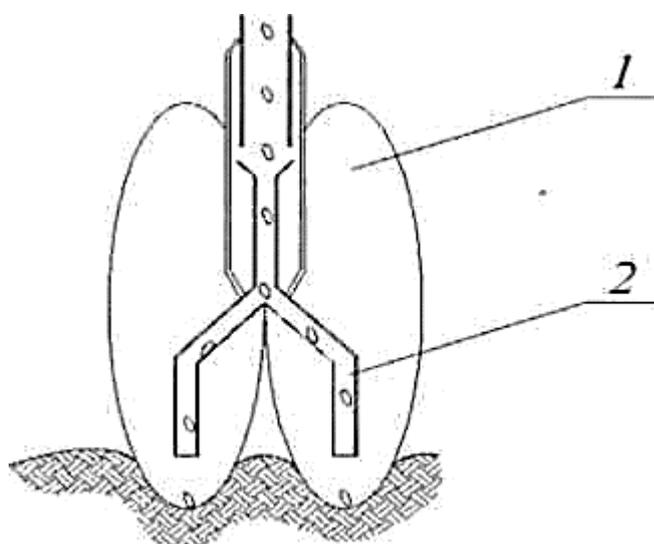


Рисунок 2.1. Серийный двухдисковый сошник для узкорядного посева:

1 – диск; 2 – делительная воронка

Вместе с тем необходимо отметить, что недостатком данного способа является сгущенность семян на погонном метре рядка. Усовершенствование узкорядного дискового сошника заключается в установке между дисками деталей для образования профиля семенного ложа 3 и рассеивателя 4 (рис. 2.2).

В данной схеме конструкция функционирует следующим образом. Деталь для образования профиля семенного ложа 3 формирует семенное ложе, сдвинув почву с междурядья к дискам на глубине заделки семян. Приспособление для рассеивания семян 4 распределяет их полосой между дисками (рис. 2.2) [102].

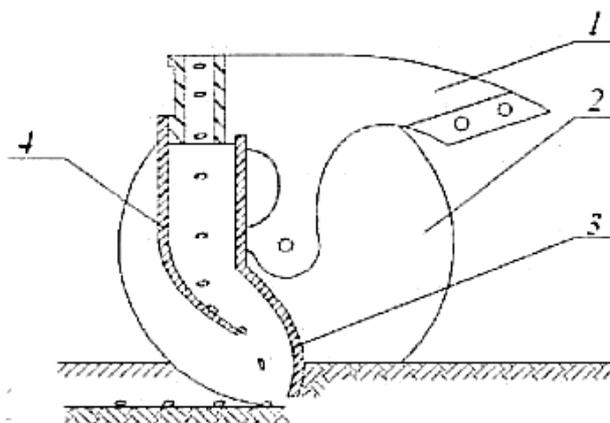


Рисунок 2.2. Схема конструкции обновленного ускорядного сошника:

1 – корпус; 2 – диск; 3 – образователь семенного ложа; 4 – распределитель семян

Известен сошник (RU 2604918 С1, дата регистрации 23.11.2016), оснащенный вращающимся и движущимся по колею ряда валиковым загортачем, закрепленным через фигурную пластину к корпусу сошника, который выполнен шириной $b_2=1,5b_1$ и установлен симметрично вертикальной оси сошника. Поверхность валика представляет собой поверхность второго порядка. Недостатком данной конструкции загортача является небольшой диапазон регулировки, а также жесткое крепление к корпусу сошника, за счет чего не обеспечивается равномерность прикатывания почвы. Наиболее близким по техническому существу к предполагаемому изобретению является агрегат, описанный в патенте (RU 2604918 С1) и в соответствии с этим выбран в качестве прототипа.

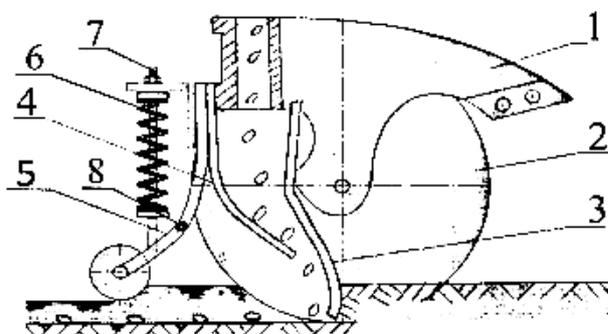


Рисунок 2.3. Сошник: 1 – корпус; 2 – диск; 3 – образователь семенного ложа;

4 – распределитель семян; 5 – валиковый загортач; 6 – штанги с пружиной;

7 – регулировочные гайки; 8 – шарнирное соединение

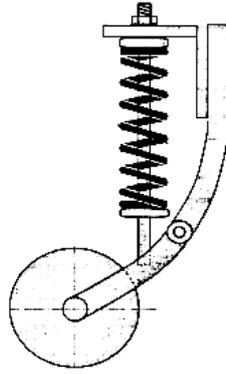


Рисунок 2.4. Конструкция катка (главный вид)

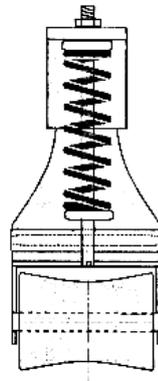


Рисунок 2.5. Каток (вид слева)

Поверхность валика представляет собой поверхность второго порядка. После загортача образуется рядок, имеющий выпуклую поверхность, которая приводит к неравномерности и увеличению глубины заделки семян.

Недостатком конструкции является каток с вогнутой поверхностью, после прикатывания которого происходит неравномерное появление всходов, по центру катка всходы появляются позже, чем по краям.

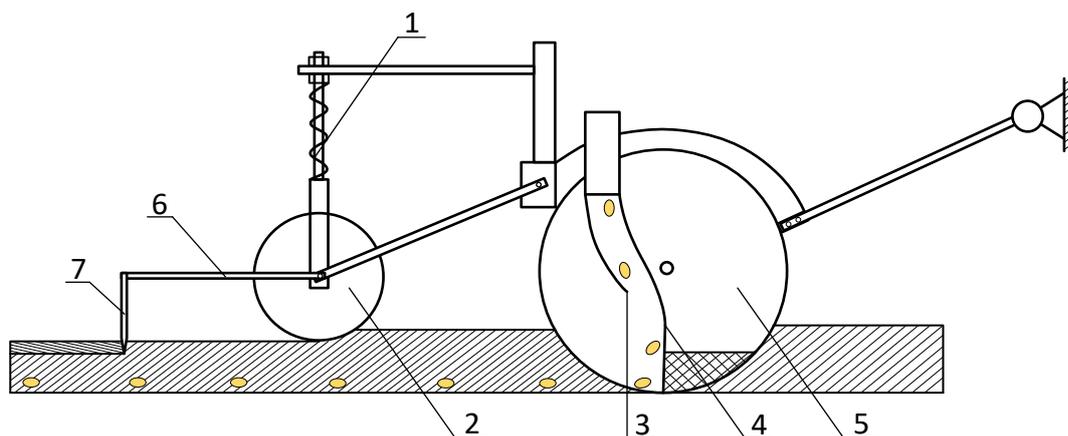


Рисунок 2.6. Усовершенствованный узкорядный дисковый сошник:

1 – пружина; 2 – прикатывающий каток; 3 – рассеиватель семян; 4 – приспособление для образования семенного ложа; 5 – диск; 6 – тяга рыхлителя; 7 – зубья

Существующий узкорядный сошник имеет два диска, установленных под углом 18° друг другу. В процессе работы он создает две бороздки с расстоянием между рядами 7,5 см. Недостаток узкорядного сошника заключается в пружинном пальцевом загорточе, который увеличивает сопротивление движения сошника, оставляет неровности почвы по рядку и недостаточно уплотняет почву, что приводит к плохому контакту семян с почвой.

Известен сошник (RU 2435356 C1, опубл. 10.12.2011), который состоит из корпуса, поводка для крепления к раме, двух плоских заостренных диска, направителя семян, чистика, двух шарикоподшипников. Сошник оснащен фигурной пластиной из высокоизносостойкой стали, которая жестко соединена с корпусом сошника через переходник. Недостатком данного сошника является загорточ, выполненный в виде фигурной пластины, который увеличивает сопротивление движения сошника.

Существует известная конструкция узкорядного двухдискового сошника (RU 2427124 C1, опубл. 27.08.2011), включающая корпус и два диска, расположенных под углом 18° друг к другу. Между дисками установлена пластина для образования горизонтального профиля семенного ложа и рассеиватель семян за ней [86]. Сзади сошников между рядками установлены пружинные пальцевые загортачи для заделки засеянного рядка, которые ведут к

продолжительности сроков прорастания семян из-за плохого контакта с почвой и излишнему испарению почвенной влаги через открытые почвенные капилляры, особенно на легких почвах.

Наиболее близким по техническому существу является агрегат (патент RU 2604918 С2, опубл. 20.12.2016), совпадающий с ним по большинству существенных признаков и в соответствии с этим выбран в качестве прототипа.

Цель полезной модели – выравнивание и взрыхление поверхности рядка за сошником, чтобы обеспечить стабильное заглубление семян и более дружное появления всходов. Это достигается тем, что за сошником по следу засеянного рядка устанавливается прикатывающий каток с рыхлителем.

Достигнутый технический результат способствует увеличению урожайности зерновых культур благодаря выравниванию и взрыхлению поверхностного слоя почвы над засеянным рядком после прикатывания катком, что приведет к стабильному заглублению семян и появлению более дружных всходов. Данная конструкция обеспечивает наиболее полное выполнение агротехнических требований посева в условиях Республики Бурятия.

На рисунке 2.6 можно увидеть предложенную модель сошника. Он состоит из таких компонентов, как корпус 1, два диска 2, установленные под углом 18° друг к другу, образователь семенного ложа 4, распределитель семян 3, рыхлитель 6. На рисунке 2.7 показан рыхлитель, состоящий из корпуса и несколько острых зубьев.



Рисунок 2.7. Рыхлитель

Во время работы диски 2 формируют две борозды с расстоянием между рядами 7,5 см. Приспособление 3, расположенное между дисками, формирует

семенную полосу, сдвинув гребень почвы с междурядья к дискам на глубину залегания семян. Из семяпровода семена достигают скатного устройства, которое распределяет их на глубине залегания полосой до 6,5 см. После прохода катка 5 образуется засеянная полоса, имеющая уплотненную форму. Затем происходит рыхление и выравнивание засеянной полосы набором заостренных зубьев, установленных на корпусе рыхлителя 6.

2.2. Обоснование сил, действующих на усовершенствованный сошник

На рисунке 2.8 показана схема распределения сил, необходимых для анализа устойчивости движения сошника. Здесь в точке А приложена приведенная сила тяжести G_C сошника, включающая массу поводка и корпуса.

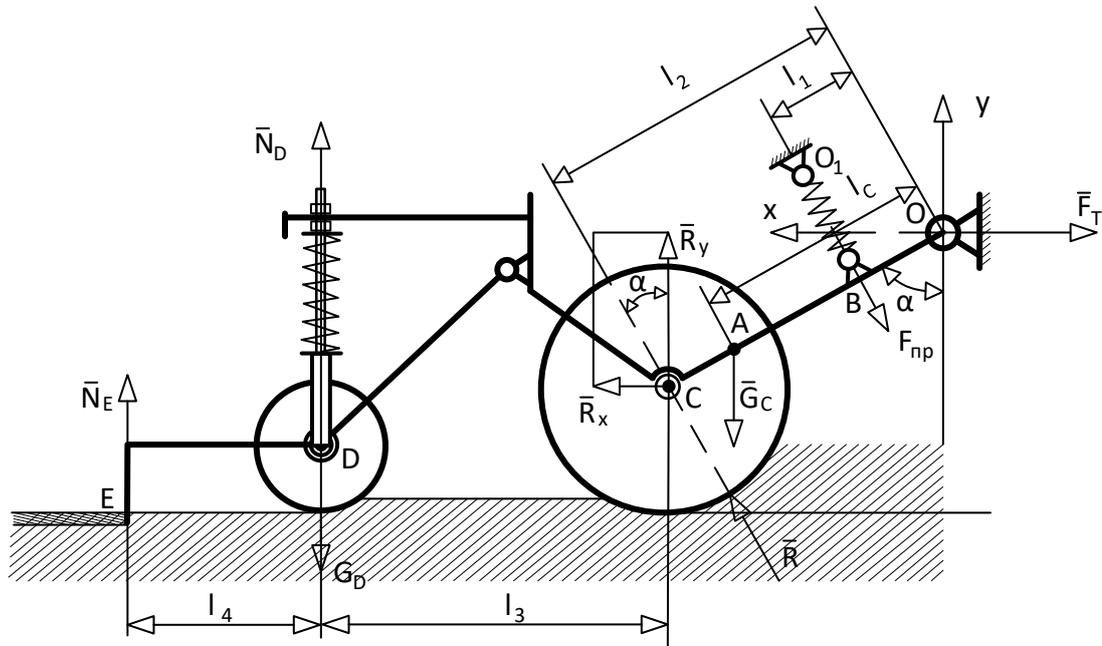


Рисунок 2.8. Схема действующих сил

В точке Д приложена сила тяжести катка, включающая также массу рыхлителя и реакции катка \bar{N}_D . В точке С показана разложенная на составляющие по вертикали и горизонтали \bar{R} реакция почвы \bar{R}_x , \bar{R}_y . К точке Е приложена реакция почвы на рыхлитель \bar{N}_E . К точке О приложено тяговое усилие \bar{F}_T . Для упрощения считаем, что сила пружины направлена перпендикулярно поводку.

Критерием устойчивого хода сошника по глубине примем угол отклонения поводка от вертикали α .

Статическое равновесие сошника выражается уравнениями:

$$\sum(\bar{R}_x, \bar{R}_y, \bar{G}_C, \bar{G}_D, \bar{N}_D, \bar{N}_E, \bar{F}_{\text{пр}}) = 0 \quad (2.1)$$

$$\sum m_0(\bar{R}_x, \bar{R}_y, \bar{G}_C, \bar{G}_D, \bar{N}_D, \bar{N}_E, \bar{F}_{\text{пр}}) = 0 \quad (2.2)$$

Таким образом условие устойчивого равновесия сошника будет характеризоваться уравнением (2.2).

В процессе движения поводок сошника отклоняется на некоторый малый угол $\Delta\alpha$ от своего равновесного положения α_0 . Переменные силы, действующие на сошник, также будут менять свои значения относительно равновесного положения:

$$\begin{aligned} \bar{R}_y &= \bar{R}_{y_0} + \Delta\bar{R}_y, \\ \bar{R}_x &= \bar{R}_{x_0} + \Delta\bar{R}_x, \\ \bar{F}_{\text{пр}} &= \bar{F}_{\text{пр}0} + \Delta\bar{F}_{\text{пр}}, \\ \bar{N}_D &= \bar{N}_{D_0} + \Delta\bar{N}_D, \\ \bar{N}_E &= \bar{N}_{E_0} + \Delta\bar{N}_E, \end{aligned} \quad (2.3)$$

а отклонение поводка от вертикали:

$$\alpha = \alpha_0 + \Delta\alpha. \quad (2.4)$$

Составим уравнение (2.2) с учетом рисунка 2.8.

$$\begin{aligned} G_C l_C \sin\alpha_0 + F_{\text{пр}} \cdot l_1 + G_D(l_2 \sin\alpha_0 + l_3) - R_y l_2 \sin\alpha_0 - \\ - R_x l_2 \cos\alpha_0 - N_D(l_2 \sin\alpha_0 + l_3) - N_E(l_2 \sin\alpha_0 + l_3 + l_4) = v. \end{aligned} \quad (2.5)$$

В реальных условиях движение сошника носит колебательный характер в силу изменений профиля поля, твердости почвы, меняющихся усилий действующих на сошник. Колебание поводка сошника относительно оси подвеса можно выразить, используя принцип Даламбера в виде дифференциального уравнения:

$$\begin{aligned} I_0 \ddot{\alpha} = G_C l_C \sin\alpha_0 + F_{\text{пр}} \cdot l_1 + G_D(l_2 \sin\alpha_0 + l_3) - R_y l_2 \sin\alpha_0 - \\ - R_x l_2 \cos\alpha_0 - N_D(l_2 \sin\alpha_0 + l_3) - N_E(l_2 \sin\alpha_0 + l_3 + l_4), \end{aligned} \quad (2.6)$$

где I_0 – момент инерции сошниковой системы относительно оси подвеса 0.

С учетом выражений (2.4) и (2.5) уравнение (2.6) запишется в следующем виде:

$$\begin{aligned}
I_0(\alpha_0 + \Delta\alpha) = & G_c l_c \sin(\alpha_0 + \Delta\alpha) + (F_{\text{пр}0} + \Delta F_{\text{пр}})l_1 + \\
& + G_{\text{д}}[l_2 \sin(\alpha_0 + \Delta\alpha) + l_3] - (R_{y_0} + \Delta R_y)l_2 \sin(\alpha_0 + \Delta\alpha) - \\
& - (R_{x_0} + \Delta R_x)l_2 \cos(\alpha_0 + \Delta\alpha) - (N_{\text{д}0} + \Delta N_{\text{д}})[l_2 \sin(\alpha_0 + \Delta\alpha) + l_3] - \\
& - (N_{E_0} + \Delta N_E)[l_2 \sin(\alpha_0 + \Delta\alpha) + l_3 + l_4]. \tag{2.7}
\end{aligned}$$

Воспользуемся формулами приведения тригонометрических функций:

$$\begin{aligned}
I_0 \ddot{\Delta\alpha} = & G_c l_c \sin\alpha_0 \cos\Delta\alpha + G_c l_c \cos\alpha_0 \sin\Delta\alpha + (F_{\text{пр}0} + \Delta F_{\text{пр}})l_1 + \\
& + G_{\text{д}}l_2 \sin\alpha_0 \cos\Delta\alpha + G_{\text{д}}l_2 \cos\alpha_0 \sin\Delta\alpha + G_{\text{д}} \cdot l_3 - \\
& - (R_{y_0} + \Delta R_y)l_2 (\sin\alpha_0 \cos\Delta\alpha + \cos\alpha_0 \sin\Delta\alpha) - \\
& - (R_{x_0} + \Delta R_x)l_2 (\cos\alpha_0 \sin\Delta\alpha - \sin\alpha_0 \cos\Delta\alpha) - \\
& - (N_{\text{д}0} + \Delta N_{\text{д}})l_2 (\sin\alpha_0 \cos\Delta\alpha + \cos\alpha_0 \sin\Delta\alpha) - (N_{\text{д}0} + \Delta N_{\text{д}})l_3 - \\
& - (N_{E_0} + \Delta N_E)[l_2 (\sin\alpha_0 \cos\Delta\alpha + \cos\alpha_0 \sin\Delta\alpha) + l_3 + l_4]. \tag{2.8}
\end{aligned}$$

Подставим в уравнение (2.8) выражение для малых углов:

$$\sin\Delta\alpha \approx \Delta\alpha; \quad \cos\Delta\alpha \approx 1.$$

$$\begin{aligned}
I_0 \ddot{\Delta\alpha} = & G_c l_c \sin\alpha_0 + G_c l_c \cos\alpha_0 \cdot \Delta\alpha + (F_{\text{пр}} + \Delta F_{\text{пр}})l_1 + \\
& + G_{\text{д}}l_2 \sin\alpha_0 + G_{\text{д}}l_2 \cos\alpha_0 \cdot \Delta\alpha + G_{\text{д}} \cdot l_3 - (R_{y_0} + \Delta R_y)l_2 \sin\alpha_0 + \\
& + (R_{y_0} + \Delta R_y)l_2 \cos\alpha_0 \cdot \Delta\alpha - (R_{x_0} + \Delta R_x)l_2 \cos\alpha_0 \Delta\alpha - \\
& - (R_{x_0} + \Delta R_x)l_2 \sin\alpha_0 \cdot \Delta\alpha - (N_{\text{д}0} + \Delta N_{\text{д}})l_2 \sin\alpha_0 - \\
& - (N_{\text{д}0} + \Delta N_{\text{д}})l_2 \cos\alpha_0 \cdot \Delta\alpha - (N_{\text{д}0} + \Delta N_{\text{д}})l_3 - \\
& - (N_{E_0} + \Delta N_E)l_2 \sin\alpha_0 - (N_{E_0} + \Delta N_E)l_2 \cos\alpha_0 \cdot \Delta\alpha - \\
& - (N_{E_{\text{д}}} + \Delta N_{\text{д}})(l_3 + l_4). \tag{2.9}
\end{aligned}$$

Примем допущение, что произведение двух малых величин являются малыми 2-го порядка и ими можно пренебречь.

Тогда уравнение (2.9) примет вид:

$$\begin{aligned}
I_0 \ddot{\Delta\alpha} = & G_c l_c \sin\alpha_0 + G_c l_c \cos\alpha_0 \cdot \Delta\alpha + (F_{\text{пр}} + \Delta F_{\text{пр}})l_1 + \\
& + G_{\text{д}}l_2 \sin\alpha_0 + G_{\text{д}}l_2 \cos\alpha_0 \cdot \Delta\alpha + G_{\text{д}} \cdot l_3 + (R_{y_0} + \Delta R_y)l_2 \sin\alpha_0 + \\
& + R_{y_0} l_2 \cos\alpha_0 \cdot \Delta\alpha - R_{x_0} l_2 \cos\alpha_0 \cdot \Delta\alpha - R_{x_0} l_2 \sin\alpha_0 \cdot \Delta\alpha - \\
& - (N_{\text{д}0} + \Delta N_{\text{д}})l_2 \sin\alpha_0 - N_{\text{д}0} l_2 \cos\alpha_0 \cdot \Delta\alpha -
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -(N_{D_0} + \Delta N_D)l_3 - (N_{E_0} + \Delta N_E)l_2 \sin \alpha_0 - \\
& - N_{E_0} l_2 \cos \alpha_0 \cdot \Delta \alpha - (N_{E_0} + \Delta N_E)(l_3 + l_4). \tag{2.10}
\end{aligned}$$

С учетом уравнения (2.5.) выражение (2.10.) примет вид:

$$\begin{aligned}
I_0 \ddot{\Delta \alpha} = & G_c l_c \cos \alpha_0 \cdot \Delta \alpha + F_{np} l_1 + G_D l_2 \cos \alpha_0 \cdot \Delta \alpha + \\
& + \Delta R_y l_2 \sin \alpha_0 + R_{y_0} l_2 \cos \alpha_0 \cdot \Delta \alpha - R_{x_0} l_2 \cos \alpha_0 \cdot \Delta \alpha - R_{x_0} l_2 \sin \alpha_0 \cdot \Delta \alpha - \\
& - \Delta N_D l_2 \sin \alpha_0 - N_{D_0} l_2 \cos \alpha_0 \cdot \Delta \alpha - \Delta N_D l_3 - \\
& - \Delta N_E l_2 \sin \alpha_0 - N_{E_0} l_2 \cos \alpha_0 \cdot \Delta \alpha - \Delta N_E (l_3 + l_4). \tag{2.11}
\end{aligned}$$

Вынесем $\Delta \alpha$ за скобки выражение (2.11)

$$\begin{aligned}
I_0 \ddot{\Delta \alpha} = & \Delta \alpha (G_c l_c \cos \alpha_0 + G_D l_2 \cos \alpha_0 + R_{y_0} l_2 \cos \alpha_0 - R_{x_0} l_2 \cos \alpha_0 - R_{x_0} l_2 \sin \alpha_0 - \\
& - N_{D_0} l_2 \cos \alpha_0 - N_{E_0} l_2 \cos \alpha_0) + F_{np} l_1 + \Delta R_y l_2 \sin \alpha_0 - \\
& - \Delta N_D l_2 \sin \alpha_0 - \Delta N_D l_3 - \Delta N_E l_2 \sin \alpha_0 - \Delta N_E (l_3 + l_4). \tag{2.12}
\end{aligned}$$

Обозначив скобки выражения (2.12) через A получим:

$$\begin{aligned}
I_0 \ddot{\Delta \alpha} = & A \cdot \Delta \alpha + F_{np} l_1 + \Delta R_y l_2 \sin \alpha_0 - \\
& - \Delta N_D l_2 \sin \alpha_0 - \Delta N_D l_3 - \Delta N_E l_2 \sin \alpha_0 - \Delta N_E (l_3 + l_4). \tag{2.13}
\end{aligned}$$

В процессе работы сеялки микрорельеф поверхности поля постоянно изменяется, т.е. представляет собой случайную функцию, а твердость почвы, действующая на сошник, также меняется в определенных пределах, что приводит к изменению реакций $\bar{R}_x, \bar{R}_y, \bar{N}_D, \bar{N}_E$.

$$\left. \begin{aligned}
R_x &= f_1(\dot{\alpha}, \alpha, t) \\
R_y &= f_2(\dot{\alpha}, \alpha, t) \\
N_D &= f_3(\dot{\alpha}, \alpha, t) \\
N_E &= f_4(\dot{\alpha}, \alpha, t)
\end{aligned} \right\} \tag{2.14}$$

Так как описанию такие зависимости сложны, то проводим их линеаризацию с помощью разложения в ряд Тейлора:

$$\begin{aligned}
R_x &\approx f_1(\dot{\alpha}_0, \alpha_0, t_0) + \left| \frac{df_1}{d\dot{\alpha}} \right|_0 \Delta \dot{\alpha} + \left| \frac{df_1}{d\alpha} \right| \Delta \alpha + f_1(t) \\
R_y &\approx f_2(\dot{\alpha}_0, \alpha_0, t_0) + \left| \frac{df_2}{d\dot{\alpha}} \right|_0 \Delta \dot{\alpha} + \left| \frac{df_2}{d\alpha} \right| \Delta \alpha + f_2(t) \\
N_D &\approx f_3(\dot{\alpha}_0, \alpha_0, t_0) + \left| \frac{df_3}{d\dot{\alpha}} \right|_0 \Delta \dot{\alpha} + \left| \frac{df_3}{d\alpha} \right| \Delta \alpha + f_3(t) \\
N_E &\approx f_4(\dot{\alpha}_0, \alpha_0, t_0) + \left| \frac{df_4}{d\dot{\alpha}} \right|_0 \Delta \dot{\alpha} + \left| \frac{df_4}{d\alpha} \right| \Delta \alpha + f_4(t)
\end{aligned} \tag{2.15}$$

Первые слагаемые в выражении (2.15) – значения функций при начальных условиях, соответствующих моменту статистического равновесия. Вторые и третьи слагаемые выступают в качестве постоянных коэффициентов, так как частные производные вычисляются вблизи заданного нулевого значения функции.

Таким образом, отклонения значений функций выражения (2.15) будут иметь вид:

$$\begin{aligned}\Delta R_x &= \left. \frac{df_1}{d\dot{\alpha}} \right|_0 \Delta\dot{\alpha} + \left. \frac{df_1}{d\alpha} \right| \Delta\alpha + f_1(t) \\ \Delta R_y &= \left. \frac{df_2}{d\dot{\alpha}} \right|_0 \Delta\dot{\alpha} + \left. \frac{df_2}{d\alpha} \right| \Delta\alpha + f_2(t) \\ \Delta N_D &= \left. \frac{df_3}{d\dot{\alpha}} \right|_0 \Delta\dot{\alpha} + \left. \frac{df_3}{d\alpha} \right| \Delta\alpha + f_3(t) \\ \Delta N_E &= \left. \frac{df_4}{d\dot{\alpha}} \right|_0 \Delta\dot{\alpha} + \left. \frac{df_4}{d\alpha} \right| \Delta\alpha + f_4(t)\end{aligned}\quad (2.16)$$

Для пружины $\Delta F_{\text{пр}} = c\Delta\lambda$, где $\Delta\lambda$ – деформация пружины $\Delta\lambda = l_{\text{пр}} \cdot \Delta\alpha$ или

$$\Delta F_{\text{пр}} = cl_1 \cdot \Delta\alpha \quad (2.17)$$

Подставим в выражение (2.12) выражение (2.15) и (2.16)

$$\begin{aligned}I_0\ddot{\Delta\alpha} &= A\Delta\alpha + cl_1^2 \cdot \Delta\alpha + \left[\left. \frac{df_2}{d\dot{\alpha}} \right|_0 \Delta\dot{\alpha} + \left. \frac{df_2}{d\alpha} \right| \Delta\alpha + f_2(t) \right] l_2 \sin\alpha_0 - \\ &- \left[\left. \frac{df_3}{d\dot{\alpha}} \right|_0 \Delta\dot{\alpha} + \left. \frac{df_3}{d\alpha} \right| \Delta\alpha + f_3(t) \right] l_2 \sin\alpha_0 - \left[\left. \frac{df_3}{d\dot{\alpha}} \right|_0 \Delta\dot{\alpha} + \left. \frac{df_3}{d\alpha} \right| \Delta\alpha + f_3(t) \right] l_3 - \\ &- \left[\left. \frac{df_4}{d\dot{\alpha}} \right|_0 \Delta\dot{\alpha} + \left. \frac{df_4}{d\alpha} \right| \Delta\alpha + f_4(t) \right] l_2 \sin\alpha_0 - \\ &- \left[\left. \frac{df_4}{d\dot{\alpha}} \right|_0 \Delta\dot{\alpha} + \left. \frac{df_4}{d\alpha} \right| \Delta\alpha + f_4(t) \right] (l_3 + l_4).\end{aligned}\quad (2.18)$$

Упростим выражение (2.18), приведя подобные члены

$$\begin{aligned}I_0\ddot{\Delta\alpha} &= A\Delta\alpha + cl_1^2\Delta\alpha + \left. \frac{df_2}{d\dot{\alpha}} \right|_0 \Delta\dot{\alpha}l_2\sin\alpha_0 + \left. \frac{df_2}{d\alpha} \right| \Delta\alpha l_2\sin\alpha_0 + f_2(t)l_2\sin\alpha_0 - \\ &- \left. \frac{df_3}{d\dot{\alpha}} \right|_0 \Delta\dot{\alpha}l_2\sin\alpha_0 - \left. \frac{df_3}{d\alpha} \right| \Delta\alpha l_2\sin\alpha_0 - f_3(t)l_2\sin\alpha_0 - \\ &- \left. \frac{df_3}{d\dot{\alpha}} \right|_0 \Delta\dot{\alpha}l_3 - \left. \frac{df_3}{d\alpha} \right| \Delta\alpha l_3 - f_3(t)l_3 - \\ &- \left. \frac{df_4}{d\dot{\alpha}} \right|_0 \Delta\dot{\alpha}l_2\sin\alpha_0 - \left. \frac{df_4}{d\alpha} \right| \Delta\alpha l_2\sin\alpha_0 - f_4(t)l_2\sin\alpha_0 -\end{aligned}$$

$$- \left| \frac{df_4}{d\dot{\alpha}} \right|_0 \Delta \dot{\alpha} (l_3 + l_4) - \left| \frac{df_4}{d\alpha} \right| \Delta \alpha (l_3 + l_4) - f_4(t) (l_3 + l_4). \quad (2.19)$$

Сгруппируем и обозначим через

$$B = \left| \frac{df_2}{d\dot{\alpha}} \right|_0 \Delta \dot{\alpha} l_2 \sin \alpha_0 - \left| \frac{df_3}{d\dot{\alpha}} \right|_0 \Delta \dot{\alpha} l_2 \sin \alpha_0 - \left| \frac{df_3}{d\dot{\alpha}} \right|_0 \Delta \dot{\alpha} l_3 - \\ - \left| \frac{df_4}{d\dot{\alpha}} \right|_0 \Delta \dot{\alpha} l_2 \sin \alpha_0 - \left| \frac{df_4}{d\dot{\alpha}} \right|_0 \Delta \dot{\alpha} (l_3 + l_4). \quad (2.20)$$

$$D = \left| \frac{df_2}{d\alpha} \right| \Delta \alpha l_2 \sin \alpha_0 - \left| \frac{df_3}{d\alpha} \right| \Delta \alpha l_2 \sin \alpha_0 - \left| \frac{df_3}{d\alpha} \right| \Delta \alpha l_3 - \\ - \left| \frac{df_4}{d\alpha} \right| \Delta \alpha l_2 \sin \alpha_0 - \left| \frac{df_4}{d\alpha} \right| \Delta \alpha (l_3 + l_4). \quad (2.21)$$

Подставим (2.20) и (2.21) в (2.19), получим

$$I_0 \ddot{\Delta \alpha} = A \Delta \alpha + c l_1^2 \Delta \alpha + B \Delta \dot{\alpha} + D \Delta \alpha + f_2(t) l_2 \sin \alpha_0 - \\ - f_3(t) l_2 \sin \alpha_0 - f_3(t) l_3 - f_4(t) l_2 \sin \alpha_0 - f_4(t) (l_3 + l_4). \quad (2.22)$$

Обозначим через $Ef(t)$ - обобщенную функцию внешних возмущений

$$Ef(t) = f_2(t) l_2 \sin \alpha_0 - f_3(t) l_2 \sin \alpha_0 - f_3(t) l_3 - \\ - f_4(t) l_2 \sin \alpha_0 - f_4(t) (l_3 + l_4). \quad (2.23)$$

Перепишем уравнение (2.22) с учетом (2.23)

$$I_0 \ddot{\Delta \alpha} = A \Delta \alpha + c l_1^2 \Delta \alpha + B \Delta \dot{\alpha} + D \Delta \alpha + Ef(t)$$

Обозначим:

$$H = A + c l_1^2 + D \text{ получим}$$

$$I_0 \ddot{\Delta \alpha} = H \Delta \alpha + B \Delta \dot{\alpha} + Ef(t) \text{ отсюда}$$

$$Ef(t) = I_0 \ddot{\Delta \alpha} - B \Delta \dot{\alpha} - H \Delta \alpha \quad (2.24)$$

Введем обозначения:

$$T_1^2 = -\frac{I}{H}; \quad T_2 = -\frac{B}{H}; \quad K = \frac{E}{H} \quad (2.25)$$

С учетом (2.25) уравнение (2.24) примет вид:

$$Kf(t) = T_1^2 \Delta \ddot{\alpha} - T_2 \Delta \dot{\alpha} + \Delta \alpha \quad (2.26)$$

T_1 и T_2 отражают соответственно инерционные и демпфирующие свойства сошника, которые определяются его конструктивными особенностями.

K – это коэффициент усиления системы.

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать вывод, что

усовершенствованный сошник уменьшает колебания сошника и повышает его устойчивость хода по глубине, обеспечивая более равномерную заделку семян.

Определение геометрических параметров прикатывающего катка с рыхлителем.

Качественная работа прикатывающего катка связана с его диаметром и видом рабочей поверхности. Для нормальной работы необходимо, чтобы каток перекатывался через комки почвы, а не толкал их перед собой. При перекатывании давление катка должно разрушать комки почвы или вдавливать в нее.

По исследованиям Бадмацыренова Д-Ц.Б., «согласно агротехническим требованиям минимальный диаметр катка при этих условиях определится по формуле:

$$D_{min} = d_{км} \operatorname{ctg}^2 \left(\frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} \right), \quad (2.27)$$

где $d_{км}$ – диаметр катка;

φ_1 – угол трения катка о почву;

φ_2 – угол трения комков о почву.

Для каштановых почв Бурятии $\varphi_1 = 21^\circ$, $\varphi_2 = 17^\circ$ при влажности почвы 15%. Максимальный диаметр комков при посеве дисковыми сошниками зерновых не должен превышать $d_{км} \leq 2$ см.

После подставки данных в формулу (2.27) получим:

$$D_{min} = 2 \cdot \operatorname{ctg}^2 \left(\frac{21^\circ + 17^\circ}{2} \right) = 16,9 \text{ см}$$

Принимаем $D_k = 18$ см.» [11].

Исходя из конструктивных соображений и агротехнических требований ширина (В) прикатывающего катка принимается $B = 140$ мм. Рассчитаем размеры рыхлителя, который шарнирно крепится к оси катка.

Усилия, действующие на пальцы рыхлителя и определяющие их прочные размеры.

Каждый палец может быть представлен как консольная балка, испытывающая напряжение растяжения и изгиба. Очевидно, что главными для

определения размеров пальцев будут являться напряжения изгиба.

Рассмотрим процесс деформации пальца под воздействием приложенных сил. Предположим, что сопротивление смятию почвенных комков прямо пропорционально степени деформации. В этом случае эпюра нормальных напряжений примет треугольную форму (рис. 2.9).

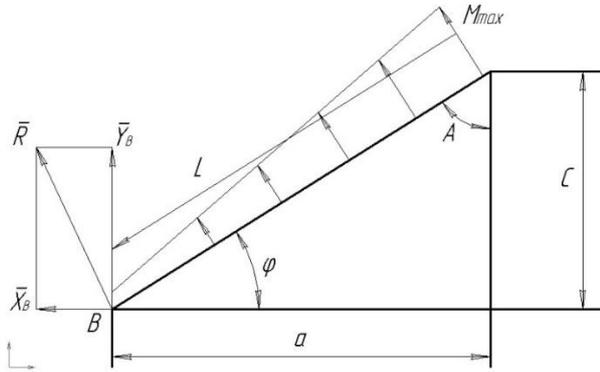


Рисунок 2.9. Схема деформации пальца рыхлителя

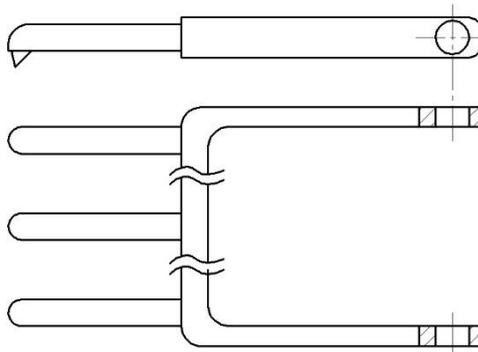
$$M_{max} = R \cdot l = Y_B \cdot l \cos \varphi + X_B \cdot l \sin \varphi = (Y_B \cos \varphi + X_B \sin \varphi) l$$

Условие прочности на изгиб пальца круглого сечения рис. 2.9 в точке А.

$$\delta_{п} = \frac{M_{max}}{W} \leq [\delta_{п}],$$

W – момент сопротивления сечения пальца.

Для стального пальца допускаемое напряжение изгиба примем $[\delta_{п}] = 160$ Мпа.



Момент сопротивления круглого сечения равен $W = \frac{\pi d^3}{32}$, отсюда

$$\frac{\pi d^3}{32} \geq \frac{M_{max}}{[\delta_{п}]} \text{ или } d \geq \sqrt[3]{\frac{M_{max}}{0,1 [\delta_{п}]}}$$

Из конструкции рыхлителя длина наклонной части равна $l_{min} = 0,25$.

2.3 Теоретические предпосылки к определению устойчивости хода сошника

Основные требования, предъявляемые к работе сошников зерновой сеялки: заделывание семян на заданную глубину, они должны лежать в пределах агротехнического допуска (± 1).

Существующие конструкции дисковых сошников не всегда соответствуют агротехническим требованиям и не создают необходимый режим влажности на заданной глубине из-за плохо уплотненного дна борозды.

Данные исследования по усовершенствованию сошниковой системы зерновой сеялки способствуют улучшению качественных показателей сеялки.

Рассмотрим движение сошниковой системы с помощью уравнения Лангранжа 2-го рода. В качестве обобщенной координаты уравнения примем угловое отклонение поводка сошника (α) в вертикальной плоскости

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}} \right) - \left(\frac{\partial T}{\partial \alpha} \right) = Q_{\alpha}, \quad (2.28)$$

где T – кинетическая энергия системы; α – обобщенная координата; $\dot{\alpha}$ – обобщенная скорость; Q_{α} – обобщенная сила.

Чтобы сошник оставался стабилен в своём движении, угол наклона поводка α должен быть неизменным. Это достигается при отсутствии колебаний сошника, что свидетельствует о статическом равновесии системы сошника [106].

При перемещении дискового сошника в почве формируются силы, воздействующие на его устойчивое положение.

Основным фактором, влияющим на стабильность глубины движения сошника, является сопротивление почвы. Рисунок 2.10 демонстрирует распределение сил, которые действуют на сошниковую систему.

«Рассмотрим факторы, влияющие на отклонение поводка сошника в вертикальной плоскости.

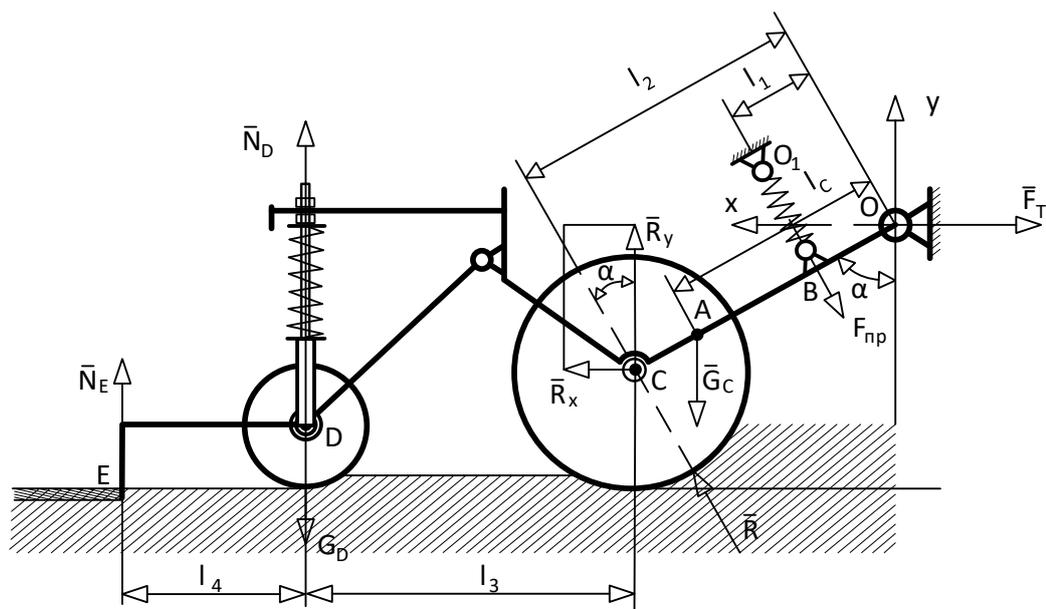


Рисунок 2.10. Схема действующих сил на сошниковую систему

Находим кинетическую энергию T уравнения (2.28)

$$T = T_c + T_{\Pi} + T_k, \quad (2.29)$$

где T_c – кинетическая энергия сошника, T_{Π} – кинетическая энергия поводка, T_k – кинетическая энергия прикатывающего каточка.

Кинетическая энергия сошника определяется по формуле:

$$T_c = T_{\text{пост}} + T_{\text{вр}}, \quad (2.30)$$

где $T_{\text{пост}}$ – кинетическая энергия при поступательном движении сошника вместе с сеялкой,

$T_{\text{вр}}$ – кинетическая энергия сошника во вращательном движении относительно оси сошника,

$T_{\text{пост}} = m_c \frac{v_c^2}{2}$, здесь m_c – приведенная масса сошника,

v_c – скорость центра масс сошника,

$v_c = \sqrt{v_{cx}^2 + v_{cy}^2}$ из рисунка 2.11» [52].

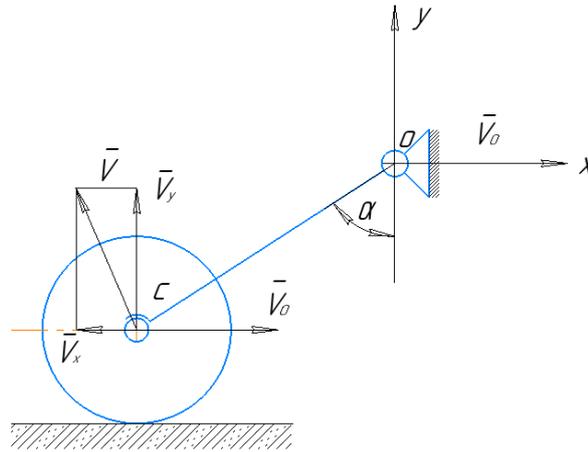


Рисунок 2.11. К вычислению скорости центра масс сошника

$$\begin{aligned}
 v_{cx} &= v_0 - v \cos \alpha = v_0 - \dot{\alpha} \cdot CO \cdot \cos \alpha \\
 v_{cy} &= v \sin \alpha = \dot{\alpha} \cdot CO \cdot \sin \alpha \\
 v_c^2 &= (v_0 - \dot{\alpha} \cdot CO \cdot \cos \alpha)^2 + (\dot{\alpha} \cdot CO \cdot \sin \alpha)^2 = \\
 &= v_0^2 - 2v_0 \cdot \dot{\alpha} \cdot CO \cdot \cos \alpha + (\dot{\alpha})^2 \cdot CO^2 \cdot \cos^2 \alpha + (\dot{\alpha})^2 \cdot CO^2 \cdot \sin^2 \alpha = \\
 &= v_0^2 - 2v_0 \cdot \dot{\alpha} \cdot CO \cdot \cos \alpha + (\dot{\alpha})^2 \cdot CO^2. \\
 T_{\text{пост}} &= \frac{1}{2} m_c [v_0^2 - 2v_0 \cdot \dot{\alpha} \cdot CO \cdot \cos \alpha + (\dot{\alpha})^2 \cdot CO^2] \quad (2.31)
 \end{aligned}$$

$T_{\text{вр}} = I_c \frac{\omega_c^2}{2}$, здесь I_c – момент инерции сошника, ω_c – угловая скорость сошника.

Примем $I_c = \frac{m_c R^2}{2}$ как для диска $\omega_c = \frac{v_0}{R_c}$, где R_c – радиус сошника.

$$T_{\text{вр}} = \frac{m_c R^2}{2} \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{v_0}{R_c} \right)^2 = \frac{1}{4} m_c v_0^2 \quad (2.32)$$

Кинетическая энергия сошника

$$\begin{aligned}
 T_c &= \frac{1}{2} m_c [v_0^2 - 2v_0 \cdot \dot{\alpha} \cdot CO \cdot \cos \alpha + (\dot{\alpha})^2 \cdot CO^2] + \frac{1}{4} m_c v_0^2 \\
 \text{или } T_c &= m_c \left[\frac{3}{4} v_0^2 - v_0 \cdot \dot{\alpha} \cdot CO \cdot \cos \alpha + \frac{1}{2} (\dot{\alpha})^2 \cdot CO^2 \right] \quad (2.33)
 \end{aligned}$$

Кинетическая энергия поводка

$T_{\text{п}} = I_{\text{п}} \frac{\omega_{\text{п}}^2}{2}$, здесь $I_{\text{п}}$ – момент инерции поводка, $\omega_{\text{п}}$ – угловая скорость поводка.

Примем $I_{\text{п}} = m_{\text{п}} \frac{l_{\text{п}}^2}{3}$, приведенный к оси 2, момент инерции поводка,

m_{Π} – масса поводка, l_{Π} – длина поводка.

$\omega_{\Pi} = \dot{\alpha}$, тогда

$$T_{\Pi} = m_{\Pi} \frac{l_{\Pi}^2}{3} \cdot \frac{1}{2} (\dot{\alpha})^2 = \frac{1}{6} m_{\Pi} l_{\Pi}^2 (\dot{\alpha})^2$$

Примем условие $l_{\Pi} = CO$, тогда

$$T_{\Pi} = m_{\Pi} \frac{l_{\Pi}^2}{3} \cdot \frac{1}{2} (\dot{\alpha})^2 = \frac{1}{6} m_{\Pi} l_{\Pi}^2 (\dot{\alpha})^2 \quad (2.34)$$

Кинетическая энергия каточка

$$T_{\kappa} = T_{\text{пост}}^{\kappa} + T_{\text{вр}}^{\kappa}, \quad (2.35)$$

где $T_{\text{пост}}^{\kappa}$ – наступательная кинетическая энергия, $T_{\text{вр}}^{\kappa}$ – вращательная кинетическая энергия.

$$T_{\text{пост}}^{\kappa} = m_{\kappa} \frac{v_{\kappa}^2}{2}; \quad T_{\text{вр}}^{\kappa} = I_{\kappa} \frac{\omega_{\kappa}^2}{2}$$

Здесь m_{κ} – масса катка, v_{κ} – скорость центра масс катка, I_{κ} – момент инерции катка, ω_{κ} – угловая скорость катка.

$$v_{\kappa} = \sqrt{v_{\kappa x}^2 + v_{\kappa y}^2}$$

Аналогично с определением кинетической энергии сошника

$$v_{\kappa x} = v_0 - v_{\kappa} \cos \alpha = v_0 - \dot{\alpha} \cdot KO \cdot \cos \alpha,$$

$$v_{\kappa y} = v_{\kappa} \sin \alpha = \dot{\alpha} \cdot CO \cdot \sin \alpha.$$

$$\begin{aligned} v_{\kappa}^2 &= (v_0 - \dot{\alpha} \cdot KO \cdot \cos \alpha)^2 + (\dot{\alpha} \cdot CO \cdot \sin \alpha)^2 = \\ &= v_0^2 - 2v_0 \cdot \dot{\alpha} \cdot KO \cdot \cos \alpha + (\dot{\alpha})^2 \cdot KO^2 \cdot \cos^2 \alpha + (\dot{\alpha})^2 \cdot CO^2 \cdot \sin^2 \alpha = \\ &= v_0^2 - 2v_0 \cdot \dot{\alpha} \cdot KO \cdot \cos \alpha + (\dot{\alpha})^2 \cdot KO^2 \end{aligned}$$

$I_{\kappa} = \frac{m_{\kappa} R_{\kappa}^2}{2}$; $\omega_{\kappa} = \frac{v_0}{R_{\kappa}}$ подставим полученные значения в их выражения.

$$T_{\text{пост}}^{\kappa} = \frac{1}{2} m_{\kappa} [v_0^2 - 2v_0 \cdot \dot{\alpha} \cdot KO \cdot \cos \alpha + (\dot{\alpha})^2 \cdot KO^2].$$

$$T_{\text{вр}}^{\kappa} = \frac{m_{\kappa} R_{\kappa}^2}{2} \cdot \frac{1}{2} \left(\frac{v_0}{R_{\kappa}} \right)^2 = \frac{1}{4} m_{\kappa} v_0^2 \text{ подставим в (2.35)}$$

$$T_{\kappa} = \frac{1}{2} m_{\kappa} [v_0^2 - 2v_0 \cdot \dot{\alpha} \cdot KO \cdot \cos \alpha + (\dot{\alpha})^2 \cdot KO^2] + \frac{1}{4} m_{\kappa} v_0^2$$

$$\text{или } T_{\kappa} = m_{\kappa} \left[\frac{3}{4} v_0^2 - v_0 \cdot \dot{\alpha} \cdot KO \cdot \cos \alpha + \frac{1}{2} (\dot{\alpha})^2 \cdot KO^2 \right]. \quad (2.36)$$

Подставим полученные значения в уравнение (2.29)

$$T = m_c \left[\frac{3}{4} v_0^2 - v_0 \cdot \dot{\alpha} \cdot CO \cdot \cos \alpha + \frac{1}{2} (\dot{\alpha})^2 \cdot CO^2 \right] + \frac{1}{6} m_{\Pi} CO^2 (\dot{\alpha})^2 + \\ + m_k \left[\frac{3}{4} v_0^2 - v_0 \cdot \dot{\alpha} \cdot KO \cdot \cos \alpha + \frac{1}{2} (\dot{\alpha})^2 \cdot KO^2 \right].$$

Находим частные производные уравнения (2.28)

$$\frac{\partial T}{\partial \alpha} = m_c v_0 \cdot \dot{\alpha} \cdot CO \cdot \sin \alpha + m_k v_0 \cdot \dot{\alpha} \cdot KO \cdot \sin \alpha = \\ = (m_c \cdot CO + m_k KO) v_0 \cdot \dot{\alpha} \cdot \sin \alpha.$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}} = -m_c v_0 \cdot \dot{\alpha} \cdot CO \cdot \cos \alpha + m_c (\dot{\alpha}) CO^2 + \frac{m_{\Pi} CO^2}{3} (\dot{\alpha}) - \\ - m_k v_0 KO \cos \alpha + m_k (\dot{\alpha}) KO^2 = \\ = -(m_c \cdot CO + m_k KO) v_0 \cos \alpha + \dot{\alpha} (m_c CO^2 + \frac{m_{\Pi} CO^2}{3} + m_k KO^2).$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}} \right) = (m_c \cdot CO + m_k KO) v_0 \sin \alpha \cdot \dot{\alpha} + \ddot{\alpha} (m_c CO^2 + \frac{m_{\Pi} CO^2}{3} + m_k KO^2)$$

Подставляем полученные величины в уравнение (2.28)

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\alpha}} \right) - \left(\frac{\partial T}{\partial \alpha} \right) = Q_{\alpha} \\ (m_c \cdot CO + m_k KO) v_0 \sin \alpha \cdot \dot{\alpha} + \ddot{\alpha} \left(m_c CO^2 + \frac{m_{\Pi} CO^2}{3} + m_k KO^2 \right) - \\ - (m_c \cdot CO + m_k KO) v_0 \sin \alpha \cdot \dot{\alpha} = Q_{\alpha} \quad (2.37)$$

Упростим (2.37) и получим

$$\ddot{\alpha} \left(m_c CO^2 + \frac{m_{\Pi} CO^2}{3} + m_k KO^2 \right) = Q_{\alpha}. \quad (2.38)$$

Обозначим скобку в уравнении (2.38) через I_0 и запишем:

$$I_0 \ddot{\alpha} = Q_{\alpha}. \quad (2.39)$$

По сути в уравнении (2.39) величина I_0 выражает приведенный момент инерции сошниковой системы относительно оси подвеса 0.

Определим правую часть полученного уравнения (2.39).

Обобщенная сила Q_{α} определится как сумма моментов внешних сил и реакций относительно оси, проходящей через точку 0 подвеса сошника к раме сеялки (рис. 2.11).

$$Q_k = \sum m_0 (\bar{F}_l) = G_c \cdot l_c + G_{\Pi} \cdot l_{\Pi} + G_k \cdot l_k - R_y \cdot l_1 - R_x \cdot l_2 +$$

$$+F_{\text{пр}} \cdot l_{\text{пр}} - R_{\text{к}}^y \cdot l_{\text{к}} - N_{\text{пл}} \cdot l_{\text{пр}} - R_{\text{к}}^x \cdot h_{\text{к}} - \tau_{\text{пл}} \cdot h_{\text{пр}} \quad (2.40)$$

Здесь: G_c – вес сошника, Н.

$l_c = l_{CO} \sin \alpha$ – плечо момента силы $G_{\text{п}}$, м.

$G_{\text{п}}$ – вес поводка с корпусом, Н.

$l_{\text{п}} = l_{AO} \sin \alpha$ – плечо момента силы $G_{\text{п}}$, м.

$G_{\text{к}}$ – вес прикатывающего катка, Н.

$l_{\text{к}} = l_{DO} \sin \alpha$ – плечо момента силы $G_{\text{к}}$, м.

R_y – реакция почвы на сошник в проекции на ось у, Н.

$l_c = l_{CO} \sin \alpha$ – плечо момента силы R_y , м.

R_x – реакция почвы на сошник в проекции на ось х, Н.

$l_2 = l_{CO} \cos \alpha$ – плечо момента силы R_x , м.

$R_{\text{к}}^y$ – реакция почвы на прикатывающий каток в проекции на ось у, Н.

$R_{\text{к}}^x$ – реакция почвы на прикатывающий каток в проекции на ось х, Н.

$h_{\text{к}}$ – плечо момента силы $R_{\text{к}}^x$, м.

$N_{\text{пл}}$ – нормальная реакция почвы на палец, Н.

$\tau_{\text{пл}}$ – касательная реакция почвы на палец, Н.

$l_{\text{пл}} = l_{BO} \sin \alpha$ – плечо момента силы $\tau_{\text{пл}}$.

$F_{\text{пр}}$ – сила нажатия пружины, Н.

$l_{\text{пр}}$ – плечо момента силы $F_{\text{пр}}$, м.

Предположим, что в случае равновесного состояния сошниковой системы, угол отклонения α поводка от вертикали $\alpha = \alpha_0$.

После соответствующих подстановок выражение для обобщенной силы запишется следующим образом:

$$\begin{aligned} Q_{\text{к}} = & G_c \cdot l_{CO} \sin \alpha_0 + G_{\text{п}} \cdot l_{AO} \sin \alpha_0 + G_{\text{к}} \cdot l_{DO} \sin \alpha_0 - \\ & - R_y \cdot l_{CO} \sin \alpha_0 - R_x \cdot l_{CO} \cos \alpha_0 + F_{\text{пр}} \cdot l_{\text{пр}} - R_{\text{к}}^y \cdot l_{DO} \sin \alpha_0 - \\ & - N_{\text{пл}} \cdot l_{BO} \sin \alpha_0 - R_{\text{к}}^x \cdot (l_{DO} \cos \alpha_0 + \frac{1}{2} R_{\text{к}}) - \tau_{\text{пл}} \cdot l_{BO} \cos \alpha_0. \end{aligned} \quad (2.41)$$

В реальности сошник постоянно отклоняется от равновесного состояния на некоторый угол $\Delta \alpha$, т.к. меняется характер сил, действующих на сошниковую систему. Тогда величина Q_{α} запишется:

$$\begin{aligned}
Q_\alpha = & G_c \cdot l_{CO} \sin(\alpha_0 + \Delta\alpha) + G_\Pi \cdot l_{AO} \sin(\alpha_0 + \Delta\alpha) + G_K \cdot l_{DO} \sin(\alpha_0 + \Delta\alpha) - \\
& - R_y \cdot l_{CO} \sin(\alpha_0 + \Delta\alpha) - R_x \cdot l_{CO} \cos(\alpha_0 + \Delta\alpha) + F_{\text{пр}} \cdot l_{\text{пр}} - \\
& - R_K^y \cdot l_{DO} \sin(\alpha_0 + \Delta\alpha) - N_{\text{пл}} \cdot l_{BO} \sin(\alpha_0 + \Delta\alpha) - \\
& - R_K^x \cdot (l_{DO} \cos(\alpha_0 + \Delta\alpha) + \frac{1}{2} R_K) - \tau_{\text{пл}} \cdot l_{BO} \cos(\alpha_0 + \Delta\alpha). \quad (2.42)
\end{aligned}$$

Преобразуем (2.42) используя формулы приведения

$$\begin{aligned}
Q_\alpha = & G_c l_{CO} \sin\alpha_0 \cos\Delta\alpha + G_c l_{CO} \cos\alpha_0 \sin\Delta\alpha + G_\Pi l_{AO} \sin\alpha_0 \cos\Delta\alpha + \\
& + G_\Pi l_{AO} \cos\alpha_0 \sin\Delta\alpha + G_K l_{DO} \sin\alpha_0 \cos\Delta\alpha + G_K l_{DO} \cos\alpha_0 \sin\Delta\alpha - \\
& - R_y l_{CO} \sin\alpha_0 \cos\Delta\alpha - R_y l_{CO} \cos\alpha_0 \sin\Delta\alpha - R_x l_{CO} \cos\alpha_0 \cos\Delta\alpha + \\
& + R_x l_{CO} \sin\alpha_0 \sin\Delta\alpha + F_{\text{пр}} l_{\text{пр}} - R_K^y l_{DO} \sin\alpha_0 \cos\Delta\alpha - R_K^y l_{DO} \cos\alpha_0 \sin\Delta\alpha - \\
& - N_{\text{пл}} l_{BO} \sin\alpha_0 \cos\Delta\alpha - N_{\text{пл}} l_{BO} \cos\alpha_0 \sin\Delta\alpha - R_K^x l_{DO} \cos\alpha_0 \cos\Delta\alpha + \\
& + R_K^x l_{DO} \sin\alpha_0 \sin\Delta\alpha - R_K^x \cdot \frac{D_K}{2} - \tau_{\text{пл}} l_{BO} \cos\alpha_0 \cos\Delta\alpha + \tau_{\text{пл}} l_{BO} \sin\alpha_0 \sin\Delta\alpha. \quad (2.43)
\end{aligned}$$

Подставим (2.43) в уравнение (2.39), предварительно упростив и сгруппировав:

$$\begin{aligned}
I_0 \ddot{\alpha} = & (G_c l_{CO} \sin\alpha_0 + G_\Pi l_{AO} \sin\alpha_0 + G_K l_{DO} \sin\alpha_0 - R_y l_{CO} \sin\alpha_0 - \\
& - R_x l_{CO} \cos\alpha_0 - R_K^y l_{DO} \sin\alpha_0 - N_{\text{пл}} l_{BO} \sin\alpha_0 - R_K^x l_{DO} \cos\alpha_0 - \\
& - \tau_{\text{пл}} l_{BO} \cos\alpha_0) \cos\Delta\alpha + (G_c l_{CO} \cos\alpha_0 + G_\Pi l_{AO} \cos\alpha_0 + G_K l_{DO} \cos\alpha_0 - \\
& - R_y l_{CO} \cos\alpha_0 + R_x l_{CO} \sin\alpha_0 - R_K^y l_{DO} \cos\alpha_0 - N_{\text{пл}} l_{BO} \cos\alpha_0 + R_K^x l_{DO} \sin\alpha_0 + \\
& + \tau_{\text{пл}} l_{BO} \sin\alpha_0) \sin\Delta\alpha + (F_{\text{пр}} \cdot l_{\text{пр}} - R_K^x \cdot \frac{D_K}{2}). \quad (2.44)
\end{aligned}$$

Введем обозначения для выражения в скобках:

$$\begin{aligned}
A = & G_c l_{CO} \sin\alpha_0 + G_\Pi l_{AO} \sin\alpha_0 + G_K l_{DO} \sin\alpha_0 - R_y l_{CO} \sin\alpha_0 - \\
& - R_x l_{CO} \cos\alpha_0 - R_K^y l_{DO} \sin\alpha_0 - N_{\text{пл}} l_{BO} \sin\alpha_0 - R_K^x l_{DO} \cos\alpha_0 - \tau_{\text{пл}} l_{BO} \cos\alpha_0. \quad (2.45)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
B = & G_c l_{CO} \cos\alpha_0 + G_\Pi l_{AO} \cos\alpha_0 + G_K l_{DO} \cos\alpha_0 - R_y l_{CO} \cos\alpha_0 + \\
& + R_x l_{CO} \sin\alpha_0 - R_K^y l_{DO} \cos\alpha_0 - N_{\text{пл}} l_{BO} \cos\alpha_0 + R_K^x l_{DO} \sin\alpha_0 + \tau_{\text{пл}} l_{BO} \sin\alpha_0. \quad (2.46)
\end{aligned}$$

$$D = F_{\text{пр}} l_{\text{пр}} - R_K^x \frac{D_K}{2}. \quad (2.47)$$

После подстановки А, В и Д в уравнение (2.44) получим:

$$I_0 \cdot \ddot{\alpha} = A \cos \Delta \alpha + B \sin \Delta \alpha + Д.$$

Обозначив $\Delta \alpha = \alpha$, получим

$$I_0 \cdot \ddot{\alpha} = A \cos \alpha + B \sin \alpha + Д. \quad (2.48)$$

Решаем уравнение (2.48)

$$\ddot{\alpha} = \frac{1}{I_0} (A \cos \alpha + B \sin \alpha + Д)$$

$$\frac{\dot{\alpha} d\dot{\alpha}}{d\alpha} = \frac{1}{I_0} (A \cos \alpha + B \sin \alpha + Д) \text{ проинтегрируем}$$

$$\int \dot{\alpha} d\dot{\alpha} = \frac{1}{I_0} \int (A \cos \alpha + B \sin \alpha + Д) d\alpha + C$$

$$\frac{(\dot{\alpha})^2}{2} = \frac{1}{I_0} (A \sin \alpha - B \cos \alpha + Д \cdot \alpha) + C$$

при $t = 0$; $\alpha = 0$; $\dot{\alpha} = 0$, тогда $C = \frac{B}{I_0}$.

$$(\dot{\alpha})^2 = \frac{2}{I_0} (A \sin \alpha - B \cos \alpha + Д \cdot \alpha) + \frac{2B}{I_0}.$$

При малых углах $\sin \alpha \approx \alpha$, $\cos \alpha \approx 1 - \frac{\alpha^2}{2}$.

$$\begin{aligned} (\dot{\alpha})^2 &= \frac{2}{I_0} \left[A\alpha - B \left(1 - \frac{\alpha^2}{2} \right) + Д \cdot \alpha \right] + \frac{2B}{I_0} = \\ &= \frac{2}{I_0} \left(A\alpha - B + B \frac{\alpha^2}{2} + Д \cdot \alpha + B \right) = \frac{2}{I_0} \left(A\alpha + B \frac{\alpha^2}{2} + Д \cdot \alpha \right) = \\ &= \frac{2}{I_0} \left[B \frac{\alpha^2}{2} + (A + Д) \cdot \alpha \right]. \end{aligned}$$

$$(\dot{\alpha})^2 = \frac{2}{I_0} \left[B \frac{\alpha^2}{2} + (A + Д) \cdot \alpha \right].$$

$$\dot{\alpha} = \sqrt{\frac{2}{I_0}} \sqrt{B \frac{\alpha^2}{2} + (A + Д) \alpha}.$$

$$\frac{d\alpha}{dt} = \sqrt{\frac{2}{I_0}} \sqrt{B \frac{\alpha^2}{2} + (A + Д) \alpha} \quad (2.49)$$

Преобразуем правую часть (2.49) и получим

$$\frac{d\alpha}{dt} = \sqrt{\frac{B}{I_0}} \sqrt{\left[\alpha + \left(\frac{A+D}{B}\right)\right]^2 - \left(\frac{A+D}{B}\right)^2}. \quad (2.50)$$

Находим t из (2.50)

$$dt = \sqrt{\frac{I_0}{B}} \frac{d\alpha}{\sqrt{\left[\alpha + \left(\frac{A+D}{B}\right)\right]^2 - \left(\frac{A+D}{B}\right)^2}}$$

интегрируем

$$t = \sqrt{\frac{I_0}{B}} \int \frac{d\alpha}{\sqrt{\left[\alpha + \left(\frac{A+D}{B}\right)\right]^2 - \left(\frac{A+D}{B}\right)^2}} + C,$$

$$t = \sqrt{\frac{I_0}{B}} \ln \left| \left[\alpha + \left(\frac{A+D}{B}\right)\right] + \sqrt{\left[\alpha + \left(\frac{A+D}{B}\right)\right]^2 - \left(\frac{A+D}{B}\right)^2} \right| + C,$$

при $t = 0$; $\alpha = 0$, находим C ,

$$C_1 = -\sqrt{\frac{I_0}{B}} \ln \left| \frac{A+D}{B} \right| \text{ окончательно}$$

$$t = \sqrt{\frac{I_0}{B}} \ln \left| \left[\alpha + \left(\frac{A+D}{B}\right)\right] + \sqrt{\left[\alpha + \left(\frac{A+D}{B}\right)\right]^2 - \left(\frac{A+D}{B}\right)^2} \right| - \sqrt{\frac{I_0}{B}} \ln \left| \frac{A+D}{B} \right|.$$

$$t = \sqrt{\frac{I_0}{B}} \ln \left| \frac{\left[\alpha + \left(\frac{A+D}{B}\right)\right] + \sqrt{\left[\alpha + \left(\frac{A+D}{B}\right)\right]^2 - \left(\frac{A+D}{B}\right)^2}}{\left(\frac{A+D}{B}\right)} \right|. \quad (2.51)$$

Введем обозначение $x = \alpha + \frac{A+D}{B}$ и подставим в (2.51).

$$t = \sqrt{\frac{I_0}{B}} \ln \left| \frac{x + \sqrt{x^2 - \left(\frac{A+D}{B}\right)^2}}{\left(\frac{A+D}{B}\right)} \right|.$$

$$\ln \left| \frac{x + \sqrt{x^2 - \left(\frac{A+D}{B}\right)^2}}{\left(\frac{A+D}{B}\right)} \right| = \sqrt{\frac{B}{I_0}} \cdot t.$$

$$x + \sqrt{x^2 - \left(\frac{A+D}{B}\right)^2} = \left(\frac{A+D}{B}\right) e^{\sqrt{\frac{B}{I_0}} t}.$$

$$\begin{aligned}
x^2 - \left(\frac{A+D}{B}\right)^2 &= \left(\frac{A+D}{B}\right)^2 e^{2\sqrt{\frac{B}{I_0}}t} - 2 \cdot x \left(\frac{A+D}{B}\right)^2 e^{\sqrt{\frac{B}{I_0}}t} + x^2. \\
2 \cdot x \left(\frac{A+D}{B}\right) e^{\sqrt{\frac{B}{I_0}}t} &= \left(\frac{A+D}{B}\right)^2 e^{2\sqrt{\frac{B}{I_0}}t} + \left(\frac{A+D}{B}\right)^2 \\
x &= \left(\frac{A+D}{B}\right) \frac{\left(e^{2\sqrt{\frac{B}{I_0}}t} + 1\right)}{2 \cdot e^{\sqrt{\frac{B}{I_0}}t}}. \tag{2.52}
\end{aligned}$$

Сделаем обратную подстановку $x = \alpha + \frac{A+D}{B}$ в (2.52) и получим

$$\alpha + \frac{A+D}{B} = \left(\frac{A+D}{B}\right) \frac{\left(e^{2\sqrt{\frac{B}{I_0}}t} + 1\right)}{2 \cdot e^{\sqrt{\frac{B}{I_0}}t}}; \text{отсюда получим:}$$

$$\alpha = \frac{A+D}{B} \left[\frac{\left(e^{2\sqrt{\frac{B}{I_0}}t} + 1\right)}{2 \cdot e^{\sqrt{\frac{B}{I_0}}t}} - 1 \right]. \tag{2.53}$$

2.4. Выводы по второй главе:

1. Сформирована новая конструкция устройства для посева зерновых растений, основанная на разработанной математической модели. Эта формула описывает экспоненциальную связь угла отклонения подвески сошника от его равновесного положения (α_0). Параметры устанавливаются на основе экспериментов, принимая во внимание высоту подвеса и длины поводка.

2. Введя величины $\alpha_0 = 74$ градуса, высоту крепления сошника $H = 0,33$ м и длину тяги рыхлителя $l = 0,55$ м в уравнение, вычислили значение угла α , которое составило $\pm 1,1$ градуса.

3. Модифицированная конструкция сошника улучшает его демпфирующие свойства, за счет чего снижаются колебания поводка. В результате этого экспериментальный сошник может лучше адаптироваться к микрорельефу почвы, что обеспечивает постоянную глубину заделки семян.

ГЛАВА 3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Методика лабораторных исследований

Используется эмпирический метод исследования, который связан с получением и первичной обработкой исходного фактического материала, где обычно выделяют факты действительности и научные факты. Фактами действительности являются события, явления, которые происходили или происходят на самом деле. Это различные стороны, свойства, отношения изучаемых объектов. Научные факты – это есть подвергнутые анализу факты действительности, проверенные, осмысленные и зафиксированные в виде логических суждений. Эмпирический метод исследования состоит из двух этапов работы: первый – из процесса добывания, получения и фиксации фактов; второй – первичная обработка включает в себя осмысление и строгое описание добытых фактов в терминах научного языка, а также классификацию фактов и выявление основных зависимостей между ними. В ходе этого этапа исследователь проводит критическую оценку, проверку и описание каждого факта научным языком; классификацию фактов по видам изучаемых явлений, по их существенности; вскрывает наиболее очевидные связи между отобранными фактами, то есть на эмпирическом уровне исследует закономерности, которые характеризуют изучаемые явления. Системный анализ и теоретические исследования эмпирического метода позволили систематизировать усовершенствованные конструкции. Изучение научно-технической и патентно-лицензионной литературы позволили установить современную физическую картину технологического процесса посева зерновых культур, прогнозировать новые конструкции под заданные технологические параметры, определить перспективные направления совершенствования сошников зерновых сеялок и теоретических исследований технологического процесса.

Разработки, изученные в ходе исследования, могут быть использованы при разработке других конструкций сошниковых групп. Полученные результаты могут быть использованы при разработке комплекса алгоритмизации проектирования сошниковых модулей посевных комплексов [86].

3.1.1 Лабораторные исследования рабочего органа

Экспериментальная установка в почвенном канале кафедры МСХП использовалась для исследований, в которых учитывалось соответствие технологического процесса посева реальной машины и ее модели. Модель рабочего органа, созданная для проведения лабораторных испытаний в почвенном канале, установка имела полный масштаб с коэффициентом i , равным 1 (рис. 3.1).

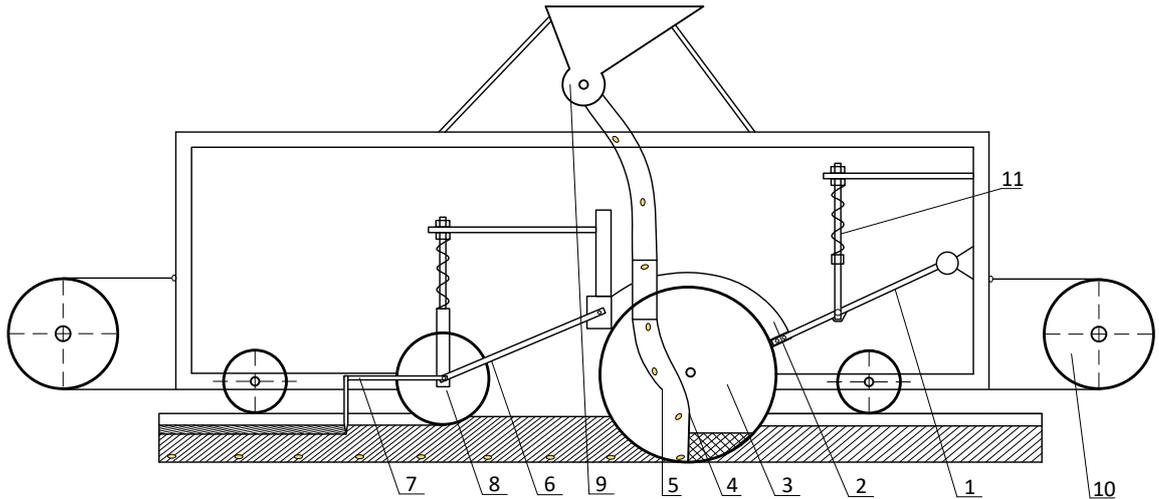


Рисунок 3.1. Схема лабораторной установки: 1 – тяга сошника; 2 – корпус; 3 – диск; 4 – образователь семенного ложа; 5 – распределитель семян; 6 – тяга катка; 7 – рыхлитель; 8 – каток; 9 – высевающий аппарат; 10 – привод установки; 11 – пружина

Опытная установка для проведения экспериментов (рис. 3.2).



Рисунок 3.2. Лабораторная установка

3.1.2 Методика определения физических свойств почвы

Методы оценки физических характеристик почвы в Бурятии соответствуют агротехническим нормативам и климатическим особенностям региона.

Почву, вынутую из буровой скважины, перемещали в заранее подготовленный контейнер и немедленно герметизировали. Когда собиралось достаточное количество образцов, контейнеры с почвой отправляли в лабораторию (см. рис. 3.3).



Рисунок 3.3. Электронные весы «Adventure»

После этого крышки с бюкса снимали и помещали в сушильный шкаф (см. рис. 3.4).



Рисунок 3.4. Сушильный шкаф ШС-89-01 СПУ

Способ измерения базируется на изменении диэлектрической проницаемости почвы при помощи цифрового влагомера MC-7828SOIL (см. рис. 3.5). Светодиодный дисплей влагомера показывает детальные сведения о содержании влаги в почве.



Рисунок 3.5 Цифровой влагомер MC-7828SOIL

Для проведения испытаний на уплотнение почвы можно использовать динамометр Ревякина с ДПУ-0,5-2, оснащенный измерителем на прочность. Этот метод используется для измерения прочности почвы (см. рис. 3.6).

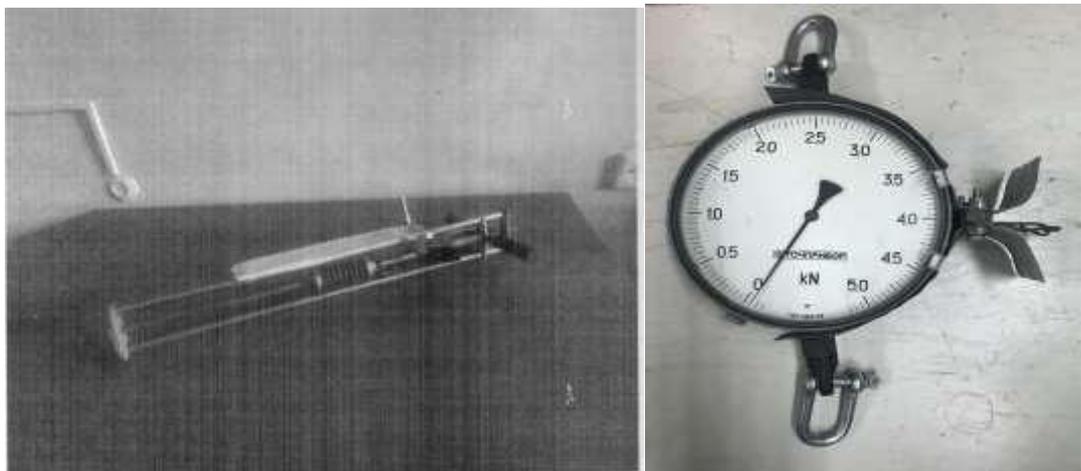


Рисунок 3.6. Твердомер Ревякина и динамометр ДПУ-0,5-2

Устройство для измерения твердости (рис. 3.7) включает шток 1, пружину 2, корпус 3 и наконечник 4 (поршень). Оборудование для определения твердости, снабженное пишущим устройством, выводит график $y = f(\lambda)$.

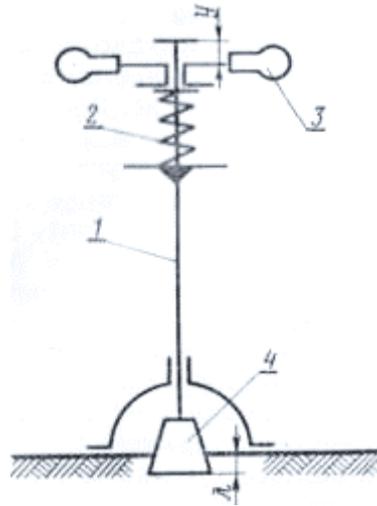


Рисунок 3.7. Схема работы твердомера Ревякина

На рисунке 3.8 показана взаимосвязь между плотностью и твердостью ПОВЫ.

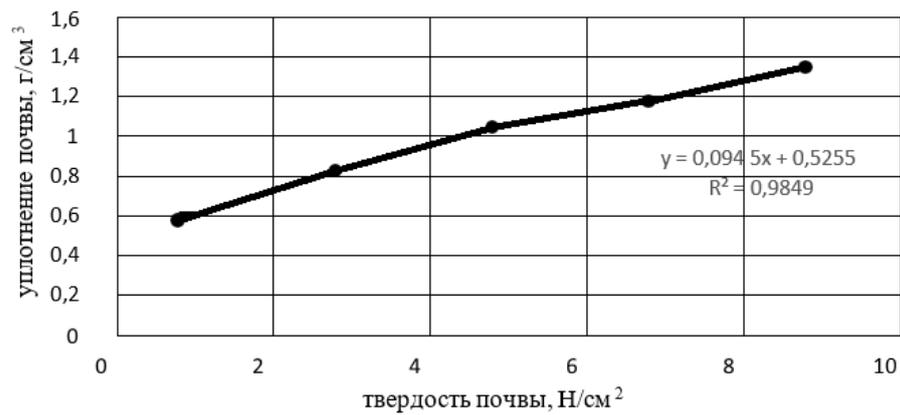


Рисунок 3.8. Связь между плотностью и твердостью почвы

3.1.3 Методика планирования эксперимента в лабораторных условиях

Одной из особенностей физического моделирования является возможность обеспечения непрерывного и достоверного процесса экспериментального посева.

Таблица 3.1 – Факторы, диапазоны и степени изменения

Условное обозначение	Факторы	Уровень варьирования факторов			Значимость влияния факторов на параметр оптимизации			
		-	0	+	1	2	3	4
x ₁	Жесткость пружины, действующей на каток Р, Н/м;	9	12	15	1	1	1	2
x ₂	Длина тяги рыхлителя $l_{пл}$, м	0,15	0,20	0,25	3	2	2	3
x ₃	Скорость катка v , м/с	1,5	2,0	2,5	4	4	4	3

Проводим 16 испытаний факторного эксперимента 2^3 , используя метод крутого восхождения (см. табл. 3.2).

Таблица 3.2 – Матрица планирования и программа крутого восхождения

№ опыта	Усилие пружины, действующей на каток Р, Н/м	Длина тяги рыхлителя $l_{пл}$, м	Скорость движения сошника v , м/с	Угол отклонения подвески сошника от равновесного положения Y , рад
1	15	0,25	2,5	0,019
2	9	0,25	2,5	0,013
3	15	0,25	2,5	0,01
4	9	0,2	2,5	0,0081
5	15	0,2	1,5	0,0071
6	9	0,25	1,5	0,0068
7	15	0,25	1,5	-0,0024
8	9	0,15	1,5	-0,0031
9	14,12	0,25	2	-0,0037
10	9,45	0,25	2	-0,004
11	15	0,125	2	-0,0067
12	9	0,15	2	0,004
13	15	0,265	2,15	0,003
14	9	0,25	1,27	0,002
15	15	0,15	2	0,001
16	9	0,15	2	0,0022

3.2 Методика определения тягового сопротивления рыхлителя

3.2.1 Описание лабораторной установки

Метод сопоставления, при котором измеряемое значение сравнивается со значением, воспроизводимым эталоном. Применение данного метода в техническом аспекте способствует проверке научных гипотез и установлению связи между теорией и практикой в научной деятельности. Главная задача измерений состоит в том, чтобы получить числовые значения требуемой физической величины и сравнить их с образцом. Метод сопоставления применяется в качестве метода совпадений, при котором оценивают разницу между измеряемым значением и эталоном, ориентируясь на совпадение отметок шкал и регулярных сигналов. Сопротивление тяги рабочих частей сельскохозяйственной техники изменяется и подвержено случайным влияниям. Это обусловлено множеством факторов, включая тип почвы, уровень ее влажности, степень засоренности, особенности рельефа и другие аспекты. Для проведения измерений сопротивления в данных обстоятельствах используется специализированный измерительный комплекс, включающий в себя как аппаратные, так и программные средства для обработки сигналов. Данный комплекс обеспечивает полный цикл измерений, начиная с получения сигналов от датчиков и заканчивая представлением результатов в физических величинах. Он предоставляет техническую возможность для измерения силы сопротивления, оказываемой рабочими органами сельскохозяйственной техники. Для достижения этой цели применяется тензометрическая система, состоящая из ряда компонентов (рис. 3.9).



Рисунок 3.9. Структурная схема измерительного комплекса

Для измерения усилий использовали S-образный тензорезисторный датчик С2Н-1-С3 (рис. 3.10)

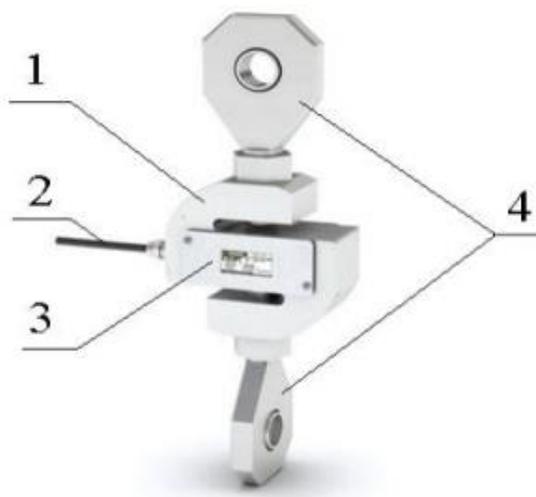


Рисунок 3.10. Устройство S-образного тензорезисторного датчика С2Н-1-С3:

1 – силовое звено; 2 – кабель; 3 – защитная пластина, закрывающая наклеенные тензорезисторы; 4 – силопередающие устройства

Тензостанция ZET 017 T8 (рис. 3.11) используется для одновременного проведения измерений по нескольким тензочаналам. Особенность данного устройства заключается в его способности производить измерение тензоров по нескольким каналам одновременно, обеспечивая точную и надежную регистрацию сигналов с высокой точностью.



На рисунке 3.12 показана лабораторная установка для тарировки тензодатчика S-образной формы.



Рисунок 3.12. Общий вид лабораторной установки: 1 – подвижная балка;
2 – образцовый динамометр; 3 – S-образный тензорезисторный датчик;
4 – неподвижное основание

Перемещение натяжной балки (1) вдоль рамы лабораторной установки (4) создавало натяжение, вызывая отклонение стрелки динамометра (2) под воздействием приложенной силы. Одновременно с использованием программного обеспечения ZETLab на компьютере фиксировались показания динамометра; также была построена диаграмма (см. рис. 3.13) и зафиксированы данные тензодатчика (3) (см. табл. 3.3).



Рисунок 3.13. Диаграмма тарирования тензометрического датчика

Таблица 3.3 - Данные тарирования тензометрического датчика

Тензодатчик, кг	0	9,5	19,4	28,2	38,8	51,4	62,9	73,5	83,8	91,1	105,7
Динамометр, кН	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1

После проведения измерений и анализа полученных данных мы построили график тарирования тензодатчика (см. рис. 3.14).

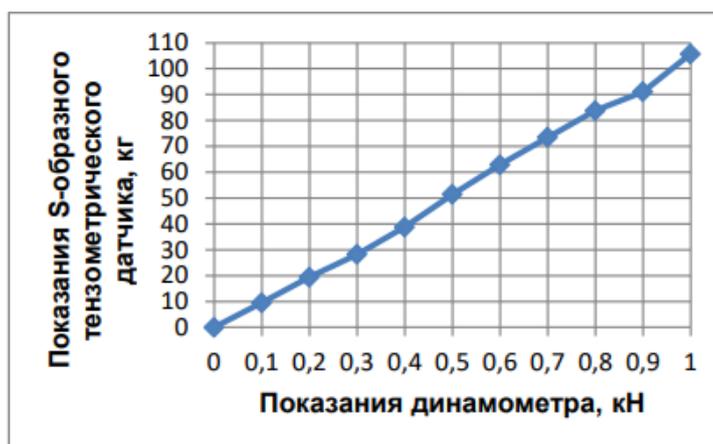


Рисунок 3.14. График тарирования тензометрического датчика

Для проведения тензометрических измерений на узкорядном дисковом сошнике в лабораторных условиях используется специальная экспериментальная установка, которая представлена на рисунке 3.15. В ходе эксперимента фиксируется тяговое сопротивление, создаваемое рабочим органом, происходит искажение S-образного тензодатчика, расположенного между передвижной тележкой и тяговой станцией. С помощью тензометрии определяют степень деформации и, исходя из этого, определяют величину тягового сопротивления.



Рисунок 3.15. Общий вид оборудования для тензометрирования в лабораторных условиях

Измерения выполняются в процессе движения тележки с экспериментальным оборудованием вдоль почвенного канала. Данные измерений поступают с тензометрического датчика S-образной формы на компьютер, где отображаются в реальном времени. Глубина посадки семян при испытаниях может варьироваться от 3 до 8 см. Тележка приводится в движение тяговой станцией с электродвигателем мощностью 5,5 кВт, обеспечивающим скорость от 1,80 до 5,58 км/ч.

3.3. Программа полевых исследований

В программу полевых исследований, составленную Бадмацыреновым Д.-Ц.Б., вошли «испытание посевного агрегата МТЗ-82.1 + СЗУ-3,6, с экспериментальными сошниками с прикатывающими катками для определения оптимальной глубины посева согласно рекомендуемой норме высева (рис. 3.17); подготовку участка к полевым исследованиям, определить влажность почвы и продуктивную влажность на глубинах 0-10 см, 10-20 см и 20-30 см; оценку твердости почвы по слоям: 0...3,0, 3,1...6,0, 6,1...9,0 см; оценку агротехнических параметров работы посевного агрегата, такие как равномерность посева на определенную глубину и сроки появления здоровых всходов; определение и изучение урожайности зерна» [11].



Рисунок 3.16. Посевной агрегат МТЗ-82.1+СЗУ-3,6



Рисунок 3.17. Усовершенствованные сошники зерновой сеялки СЗУ-3,6

3.3.1. Методика определения распределения равномерности глубины заделки семян

Глубина посева определяется расстоянием от семени до поверхности почвы (см. рис. 3.18).

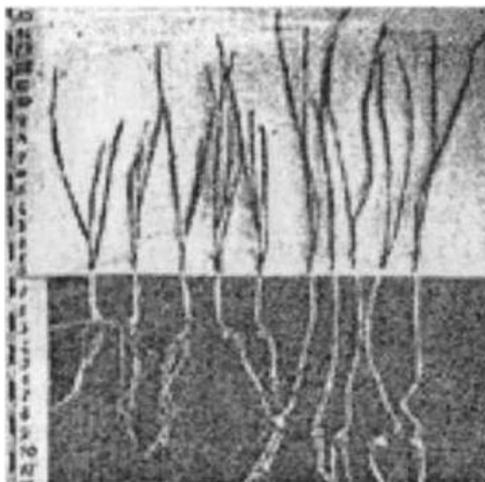


Рисунок 3.18. Определение глубины заделки семян посредством исследования их этиолированных частей

3.3.2 Методика определения полевой всхожести семян

Различие всхожести семян в полевых условиях оценивают следующим образом (см. рис. 3.19).

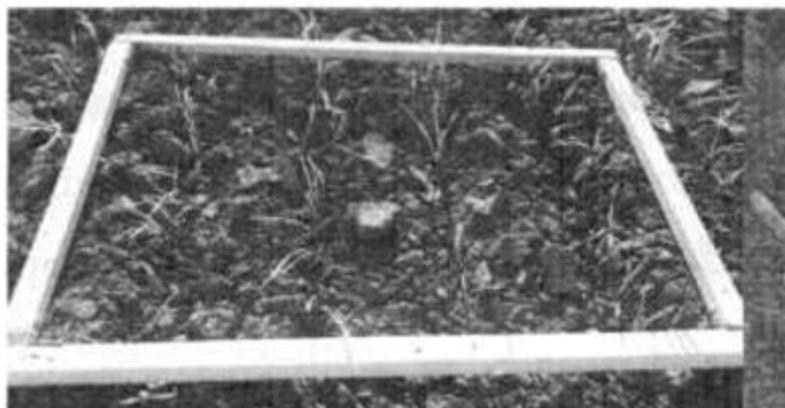


Рисунок 3.19. Размещение каркаса на измерительной площадке для учета всходов

3.3.3 Методика определения урожайности

Основным критерием для оценки урожайности в засушливых условиях Забайкалья были выбраны показатели количества и качества урожая. Для выяснения остальных параметров строения растений из группы образцов выбирают 25 типичных стеблей, оценивая среднюю длину колоса, среднее число колосков на стебель и среднее количество зерен в каждом колосе. Трехлетние данные получены с экспериментальных площадок исходя из плотности культур.

3.3.4. Методика обработки экспериментальных данных

По мнению Бадмацыренова Д.-Ц.Б., «чтобы определить значение « σ », необходимо вычислить \bar{a} и разницу каждого измерения от среднего арифметического. Кроме того, следует также рассчитать процентное отклонение, истинную среднюю ошибку « m » и показатель точности опыта « p ».

$$\bar{a} = \frac{\sum a_i}{n}, \quad (3.1)$$

где a_i – результат измерения; n – количество оценок.

Для более глубокого анализа гипотетических показателей множественного числа недостаточно просто определить среднее арифметическое, так как важно и отклонение от этого значения. Таким образом, для определения « a »

рассчитывается стандартное отклонение:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum b_i^2}{n}}. \quad (3.2)$$

Для числа, содержащего не более 20 значений, формула показывает:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum b_i^2}{n-1}}, \quad (3.3)$$

где $\sum b_i^2$ – суммарное квадратичное отклонение одного измерения от среднего арифметического определения ($b_1 = a_i - a_1, b_2 = a_2 - a_2, b_3 = a_3 - a_3, \dots, b_i = a_i - a_i$).

$$V = \pm \frac{\sigma}{a} \cdot 100\%, \quad (3.4)$$

Чем выше коэффициент вариации, тем разнообразнее исследуемый материал. Таким образом, коэффициент дисперсии определяет степень однородности распределения признаков или событий.

Качество опыта зависит от следующего фактора:

Формула используется для определения арифметической погрешности измерения:

$$m = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (3.5)$$

Вычислив значение « σ », полученное по формуле (3.5), получим

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum b_i^2}{n(n-1)}}. \quad (3.6)$$

Формула (3.6) показывает, что показатель в абсолютном выражении отражает степень точности получения арифметической величины» [11]:

$$p = \frac{m}{a} \cdot 100\%. \quad (3.7)$$

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Технологическая схема экспериментального сошника

Для получения исчерпывающей характеристики посевной машины при ее агротехнической оценке в лабораторных условиях необходимо и достаточно определить всего два показателя:

- высевающую способность зерновых и туковых высевающих аппаратов, т. е. установить минимально и максимально возможные нормы высева семян, которые способна обеспечить испытываемая сеялка;
- количество механически поврежденных при высеве семян и гранул минеральных удобрений.

При лабораторно-полевых испытаниях агроному для агротехнической оценки посевной машины необходимо определить также два основных показателя:

- количество фактически высеянных семян (удобрений) на каждый учетный метр рядка или квадратный метр площади поля;
- фактическую глубину заделки в почву высеваемых семян (удобрений).

В качестве дополнительных показателей работы посевных машин необходимо определять:

- величину неровностей поверхности почвы после прохода сеялки;
- площадь поверхности поля, занятую после прохода сеялки вынесенными нижними влажными слоями почвы;
- объемную плотность почвы в зоне расположения высеянных семян.

Таким образом, без ущерба качества испытаний новые методы агротехнической оценки сеялок дают возможность сократить количество измеряемых показателей более чем в 3 раза. Кроме того, принципиальные преимущества предлагаемой методики агротехнической оценки обеспечивают существенное упрощение методов оценки посевных машин, повышение точности измерений, высокую статистическую надежность выводов.

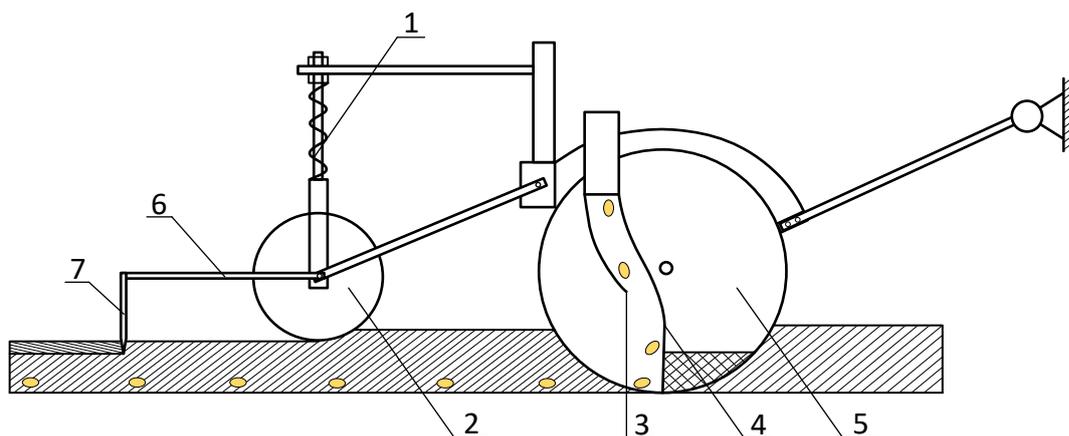


Рисунок 4.1. Усовершенствованный узкорядный дисковый сошник:

1 – пружина катка; корпус; 2 – прикатывающий каток; диск; 3 – рассеиватель семян; 4 – профилеобразователь семенного ложа; 5 – сошник; 6 – тяга рыхлителя; 7 – зубья рыхлителя

При работе сошника диски 5 (рис. 4.1) образуют две бороздки с междурядьем 7,5 см. Профилеобразователь 4, расположенный между дисками, формирует профиль семенного ложа, сдвинув почву с междурядья к дискам на глубину заделки семян. Из семяпровода семенной поток поступает на рассеиватель 3, распределяющий семена между дисковыми элементами по всей ширине грядки. После прохода катка 2 образуется засеянная полоса с уплотнением. Затем засеянная полоса взрыхляется набором заостренных зубьев 7, установленных на рыхлителе.

4.2 Разработка и обоснование конструктивных характеристик комбинированного сошника

Сошник комбинированного типа существенно влияет на глубину посева семян зерновых растений. На первом этапе исследований в результате обработки экспериментальных данных получены линейные уравнения регрессии, показывающие степень влияния факторов и их взаимодействий на критерий оптимизации. Анализ линейных уравнений регрессии показал, что одна из величин коэффициентов регрессии, связанных с эффектами взаимодействия, оказалась значимой. Поэтому линейная модель не является адекватной

(приложение II).

По известной методике Бокса-Уилсона было совершено «крутое восхождение» по поверхности отклика и определена область, соответствующая оптимальным условиям протекания процесса (приложение IV).

На втором этапе исследований для описания области оптимума было принято центральное композиционное ротатабельное униформ-планирование второго порядка. Построение рабочих матриц планирования и подсчет коэффициентов регрессии проводили по общепринятой методике [95] (приложения V, VI).

Применение метода планирования эксперимента способствует получению достоверной информации об оптимальных условиях технологического процесса и установлению количественных связей между параметрами на входе и выходе. Результаты одновременно являются и целью, и мерилем для улучшения. При оптимизации технологических процессов необходимо выбрать параметр оптимизации, который будет физически совместим и проверен математически, но технологическим по содержанию.

Целевая функция имеет вид:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k), \quad (4.1)$$

где y – параметр (критерий) оптимизации; x_1, x_2, \dots, x_k – независимые переменные (факторы).

Из анализа исследований выбраны параметры, влияющие на плотность почвы после прохода сошника с катком на глубину заделки семян:

x_1 – жесткость пружины, действующей на каток P , Н/м;

x_2 – длина тяги рыхлителя $l_{тр}$, м;

x_3 – скорость движения агрегата V , м/с;

x_4 – плотность почвы, δ_0 , г/см³;

x_5 – твердость почвы, Мпа;

x_6 – влажность почвы, %

x_7 – расстояние между центрами осей сошника и катка l , м.

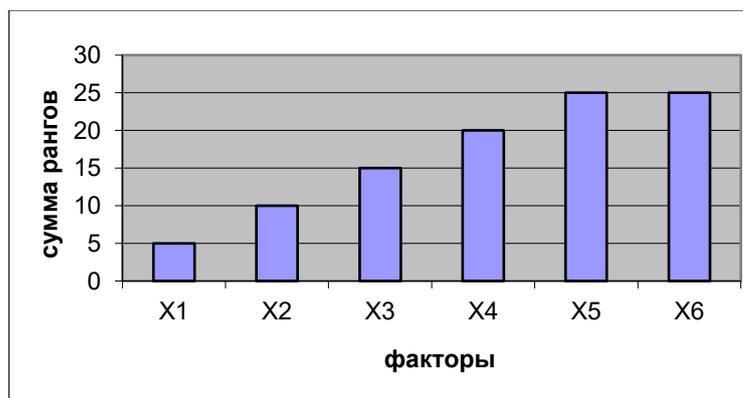
Результаты уровня варьирования факторов их значимости влияния на

параметр оптимизации специалистами приведены в таблице 4.1 [94].

Таблица 4.1 – Результаты первичного ранжирования факторов

Условное обозначение	Факторы	Уровень варьирования факторов			Значимость влияния факторов на параметр оптимизации			
		-	0	+	1	2	3	4
x_1	Жесткость пружины, действующей на каток Р, Н/м;	9	12	15	1	1	1	2
x_2	Длина тяги рыхлителя $l_{\text{рх}}$, м	0,15	0,20	0,25	3	2	2	3
x_3	Скорость сошника v , м/с	1,5	2,0	2,5	4	4	4	3
x_4	Плотность почвы δ_0 , г/см ³	0,96	1,06	1,16	6	4	3	7
x_5	Твердость почвы, МПа	0,4	0,6	0,8	7	6	6	6
x_6	Влажность почвы, %	11	16	21	6	8	6	5
x_7	Расстояние между центрами осей сошника и катка l , м	0,32	0,35	0,38	1	1	1	2

Таблица 4.2 – Диаграмма ранжирования факторов



Задача заключается в выявлении оптимальных диапазонов значений параметров сошника, таких как усилие пружины на каток (x_1), длина тяги рыхлителя $l_{\text{рх}}$, (x_2) и скорость сеялки (x_3) для стабильного размещения семян на необходимую глубину посева [93].

В результате эксперимента, выполненного методом априорного ранжирования факторов и выбора значимых факторов, целевая функция (4.1) с учетом параметра оптимизации примет вид (Приложение III):

$$y = f(x_1, x_2, x_3) \quad (4.2)$$

Научные исследования проведены в почвенном канале кафедры МСХП Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р.

Филиппова.

Для проведения исследований была разработана матрица полного факторного эксперимента типа 2^3 .

Таблица 4.3 – Матрица экспериментов

№ опыта	Усилие пружины, действующей на каток Р, Н/м	Длина тяги рыхлителя $l_{пл}$, м	Скорость движения сошника v , м/с	Угол отклонения подвески сошника от равновесного положения Y , рад
1	15	0,25	2,5	0,019
2	9	0,25	2,5	0,013
3	15	0,25	2,5	0,01
4	9	0,2	2,5	0,0081
5	15	0,2	1,5	0,0071
6	9	0,25	1,5	0,0068
7	15	0,25	1,5	-0,0024
8	9	0,15	1,5	-0,0031
9	14,12	0,25	2	-0,0037
10	9,45	0,25	2	-0,004
11	15	0,125	2	-0,0067
12	9	0,15	2	0,004
13	15	0,265	2,15	0,003
14	9	0,25	1,27	0,002
15	15	0,15	2	0,001
16	9	0,15	2	0,0022

После обработки результатов многофакторного эксперимента на персональном компьютере получили расчетную математическую модель второго порядка, описывающую зависимость $y = f(x_1, x_2, x_3)$ в закодированном виде:

$$y = 46,22 - 21,128 \cdot x_1 - 16,247 \cdot x_2 - 11,82 \cdot x_3 + 0,21 \cdot x_1^2 + 0,16 \cdot x_2^2 + 0,12 \cdot x_3^2 + 0,0013 x_1 x_2 + 0,0013 x_1 x_3 - 0,0015 x_2 x_3. \quad (4.3)$$

Проведен Зиминой О.Г. «отсеивающий эксперимент для получения информации о важности каждого параметра. Это позволило исключить незначимые факторы и сократить объем последующих исследований. Подробные схемы эксперимента и методы обработки результатов описаны в литературе с указанием источников данных и математической обработки.

Для определения оптимальных значений конструктивных параметров комбинированного сошника, обеспечивающих равномерное распределение

семян на необходимую глубину» [52].

4.3 Результаты планирования полного факторного эксперимента

Мы проводим анализ уравнения второго порядка регрессии, описывающая исследуемый процесс:

$$y = 46,22 - 21,128 \cdot x_1 - 16,247 \cdot x_2 - 11,82 \cdot x_3 + 0,21 \cdot x_1^2 + 0,16 \cdot x_2^2 + 0,12 x_3^2 + 0,0013 x_1 x_2 + 0,0013 x_1 x_3 - 0,0015 x_2 x_3. \quad (4.4)$$

Анализ данного уравнения по критерию Фишера показывает, что выбранные факторы можно считать значимыми с 95-процентной достоверностью.

Далее проводим анализ уравнения регрессии (4.4) с целью построения геометрического образа изучаемой функции и получения отклика в трехмерном пространстве.

1) Проанализируем угол отклонения подвески сошника от состояния равновесия (y), определяем глубину заделки семян в зависимости от X_1 и X_2 при условии, что X_3 равно 0 (нулевой уровень). Тогда мы получаем уравнение

$$Y = -2,2431 - 0,0736x_1 + 4,3815x_2 + 0,0029x_1^2 + 0,0031x_1x_2 - 1,8152x_2^2 \quad (4.5)$$

Из формулы (4.5) можно заключить, что исследуемую поверхность отклика можно описать как двуполостной гиперболоид. В этом случае значение параметра увеличивается при движении из центра фигуры – «седла» по одной оси и уменьшается при движении по другой оси (рис. 4.2).

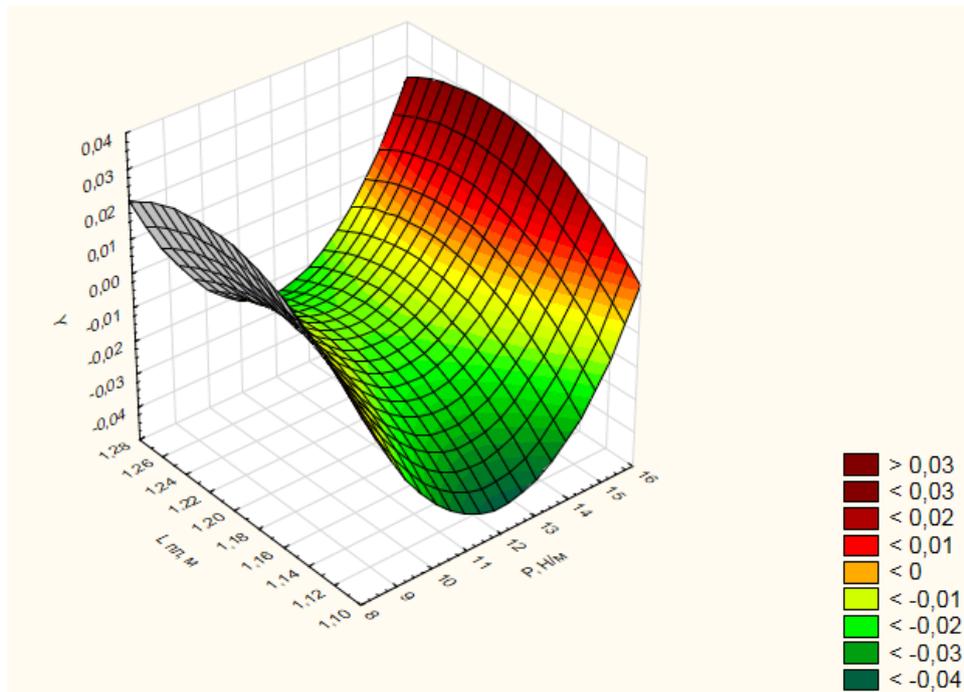


Рисунок 4.2. Зависимость угла отклонения подвески сошника от равновесного положения Y , рад описывается поверхностью отклика, характеризующейся усилием пружины, действующей на каток P , Н/м (x_1) и длиной тяги рыхлителя $l_{т.р.}$, м (x_2) при нулевой скорости катка, v , м/с (x_3).

Исследование сечений демонстрирует, что при деформации пружины, воздействующей на каток, P , Н/м ($x_1=12$ Н/м) угол отклонения подвески сошника от состояния равновесия составляет $Y = -0,016$ рад и длины тяги рыхлителя $l_{т.р.}$, м ($x_2 = 0,215$ м) и скорости катка, v , м/с ($x_3 = 2,0$ м/с).

2) Проанализируем отклонение угла подвески сошника от состояния равновесия (y), определяющего глубину посадки семян, при фиксировании X_2 на нулевом значении, в зависимости от X_1 и X_3 .

$$Y = 0,2373 - 0,0293x_1 - 0,0835x_3 + 0,0012x_1^2 + 0,0002x_1x_3 + 0,0231x_1^2 \quad (4.6)$$

Из уравнения (4.6) вытекает, что поверхность отклика можно представить в виде эллипсоида вращения, то есть поверхность отклика, имеющая экстремум в виде максимума (рис. 4.3) [101].

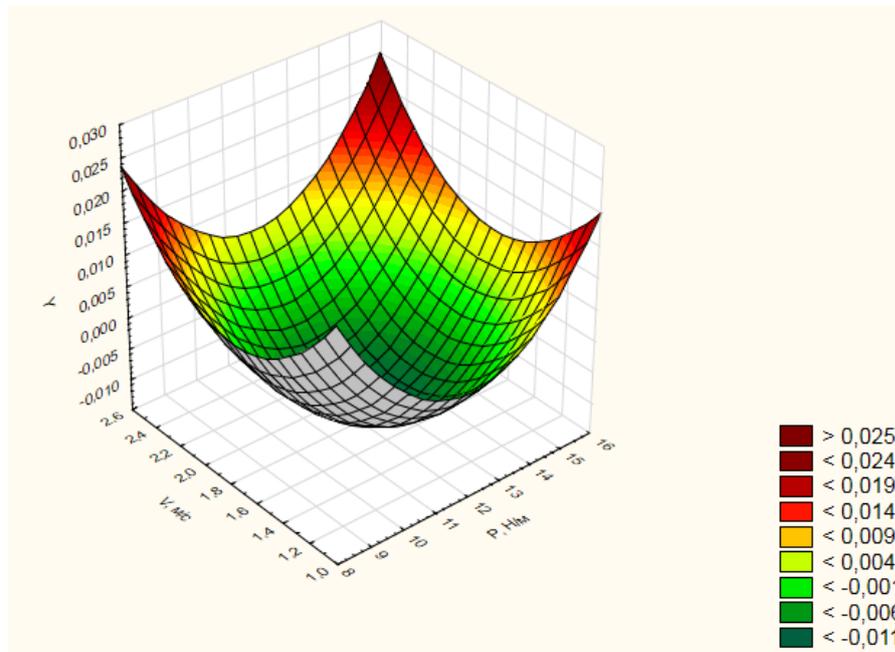


Рисунок 4.3. Поверхность отклика, описывающая зависимость угла отклонения подвески сошника от равновесного положения (γ) от силы пружины, приложенной к катку P , Н/м (x_1) и скорости катка, v , м/с (x_3) при длине тяги рыхлителя $l_{т.р.}$, м (x_2) на нулевом уровне

3) Проанализируем угол отклонения γ подвески сошника от состояния равновесия, который определяет глубину посадки семян в зависимости от X_2 и X_3 , при условии, что X_1 стабилизирован на нулевом уровне (рис. 4.4) [93]. Тогда получим уравнение

$$\gamma = -1,5125 + 2,7174x_2 - 0,132x_3 - 1,1657x_2^2 + 0,0463x_2x_3 + 0,0215x_3^2 \quad (4.7)$$

Как и во втором случае, из уравнения (4.7) можно представить, что исследуемую поверхность реакции можно описать как двухполостной гиперболоид. При этом значение параметра увеличивается при движении из центра фигуры – «седла» по одной оси и уменьшается при движении по другой оси (рис. 4.4).

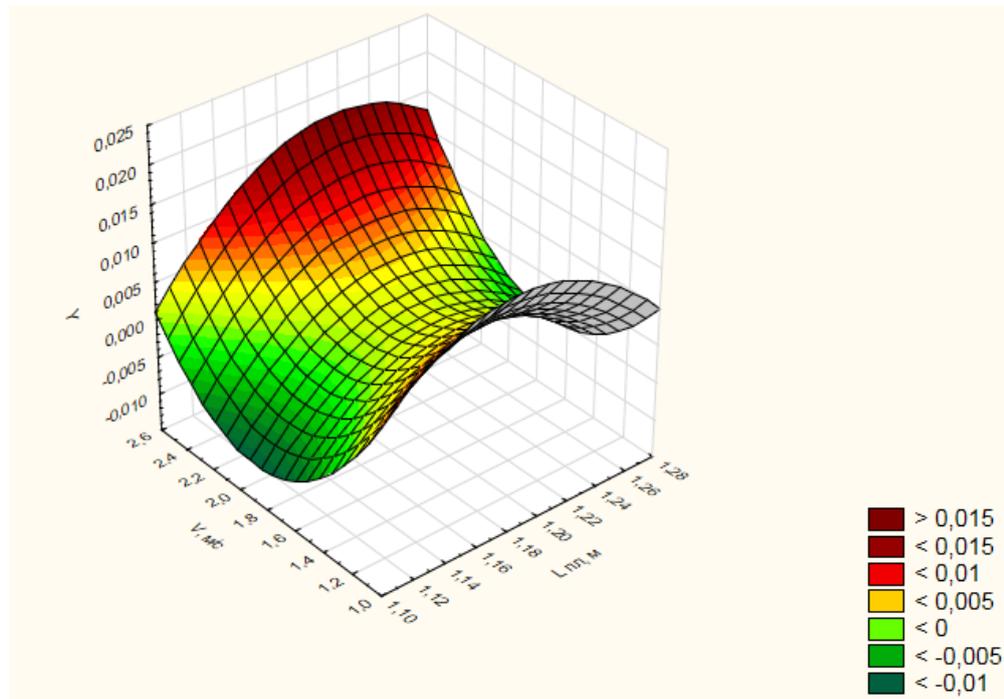


Рисунок 4.4. Зависимость угла отклонения подвески сошника от его равновесного положения описывается поверхностью реакции (Y) от длины тяги рыхлителя $l_{т.р.}$, м (x_2) и скорости катка, v , м/с (x_3) при усилии пружины, действующей на каток P , Н/м (x_1) на нулевом уровне

Сечение поверхности отклика, характеризующей зависимость угол отклонения подвески сошника от равновесного положения (Y) от длины тяги рыхлителя $l_{т.р.}$, м (x_2) и скорости катка, v , м/с (x_3) при усилии пружины, действующей на каток P , Н/м (x_1) на нулевом уровне.

Анализ сечения подтвердил, что угол отклонения подвески сошника от равновесного положения $Y=0,004$ рад при усилии пружины, действующей на каток P , Н/м ($x_1 = 12,0$ Н/м) и длины тяги рыхлителя $l_{т.р.}$, м ($x_2 = 0,2$ м) и скорости катка, v , м/с ($x_3 = 1,8$ м/с) [101].

4.4. Изучение поверхности отклика с помощью двухмерных сечений

Анализ двухмерных сечений отклика существенно упрощает интерпретацию итогов исследования. Если подставить близкие к оптимальным значения всех факторов, за исключением двух, в уравнение регрессии, можно получить ряд двухмерных сечений. Это предоставляет возможность оценить влияние каждой пары факторов, учитывая их взаимодействие, на

оптимизируемый параметр.

Обстоятельства становятся более запутанными, когда канонический анализ регрессионного уравнения демонстрирует, что изучаемая отклик-поверхность является минимаксной, с центром, расположенным вблизи экспериментального центра. Это означает, что из начальной точки «седла» нужно начинать движение по направлениям осей, ассоциированных с положительными коэффициентами в каноническом уравнении.

При рассмотрении параметров влияния факторов X_1 и X_2 при стабилизации X_3 на нулевом уровне. Анализ уравнения проводим с помощью двухмерных сечений. В данном случае поверхность отклика представляет собой гиперболический параболоид (рис. 4.5).

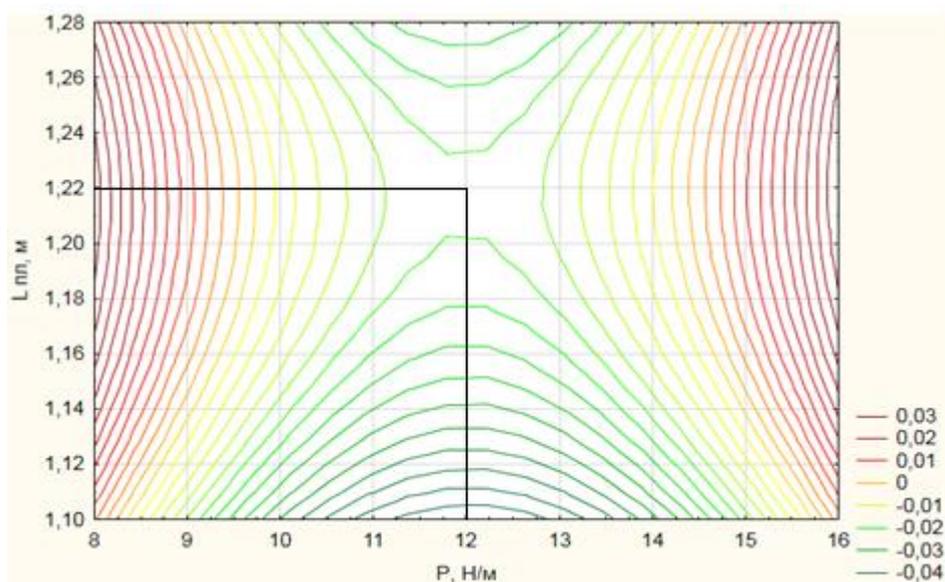


Рисунок 4.5. Профиль отклика, описывающий взаимоотношение угла отклонения подвески сошника от равновесного положения Y , рад в зависимости от силы пружины, воздействующей на каток P , Н/м (x_1) и длины тяги рыхлителя $l_{т.р.}$, м (x_2) при скорости катка, v , м/с (x_3) на нулевом уровне.

Исследование поперечных разрезов выявило, что отклонение угла подвески сошника от равновесия составляет $Y = -0,016$ рад при приложении усилия пружины к катку P , Н/м ($x_1 = 12$ Н/м) и длины тяги рыхлителя $l_{т.р.}$, м ($x_2 = 0,215$ м) и скорости катка, v , м/с ($x_3 = 2,0$ м/с).

При рассмотрим параметров влияния факторов X_1 и X_3 при стабилизации

X_2 на нулевом уровне. Анализ уравнения проводим с помощью двухмерных сечений. В данном случае поверхность отклика представляет собой эллипсоида вращения (рис. 4.6).

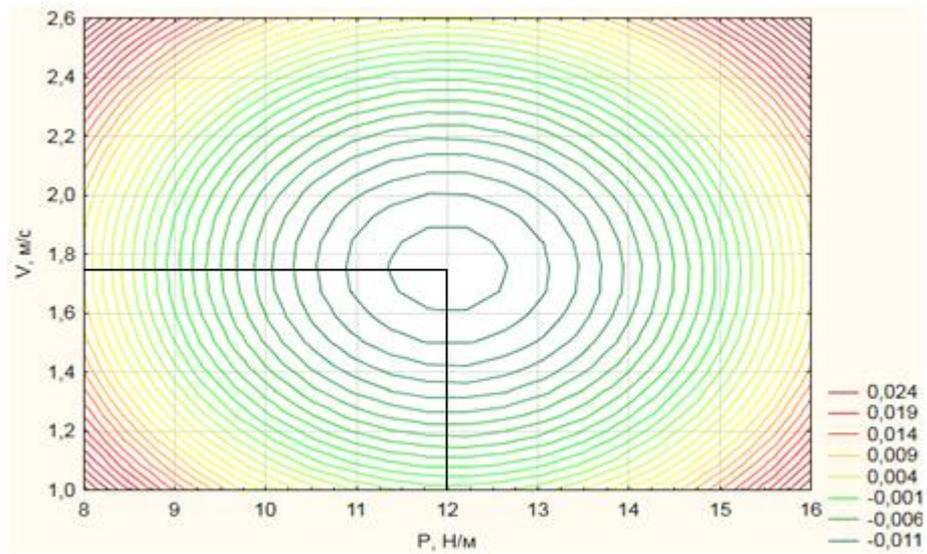


Рисунок 4.6. Сечение поверхности отклика, характеризующей зависимость угол отклонения подвески сошника от равновесного положения (Y) от усилия пружины, действующей на каток P , Н/м (x_1) и скорости катка, v , м/с (x_3) при длине тяги рыхлителя $l_{т.р.}$, м (x_2) на нулевом уровне

Результаты анализа сечения поверхности отклика свидетельствуют о том, что угол отклонения подвески сошника от равновесного положения $Y = -0,014$ рад при усилии пружины, действующей на каток P , Н/м ($x_1 = 12$ Н/м) и длины тяги рыхлителя $l_{т.р.}$, м ($x_2 = 0,2$ м) и скорости катка, v , м/с ($x_3 = 1,75$ м/с) [101].

При рассмотрении параметров влияния факторов X_2 и X_3 при стабилизации X_1 на нулевом уровне. Анализ уравнения проводим с помощью двухмерных сечений. В данном случае поверхность отклика представляет собой гиперболический параболоид (рис. 4.7).

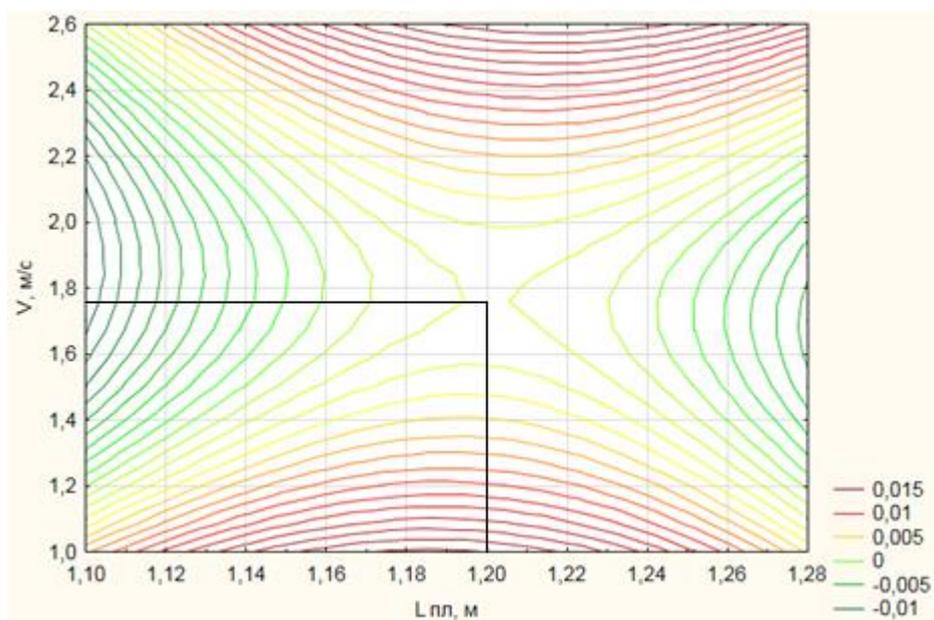


Рисунок 4.7. График зависимости угла отклонения сошника от его равновесного положения (Y) от длины тяги рыхлителя $l_{т.р.}$, м (x_2) и скорости катка, v , м/с (x_3) при усилии пружины, действующей на каток P , Н/м (x_1) на нулевом уровне

Проведенный анализ сечения выявил, что угол отклонения подвески сошника от равновесного положения $Y=0,004$ рад при усилии пружины, действующей на каток P , Н/м ($x_1 = 12,0$ Н/м) и длине тяги рыхлителя $l_{т.р.}$, м ($x_2 = 0,2$ м) и скорости катка, v , м/с ($x_3 = 1,8$ м/с).

4.5 Установление степени взаимной связи между основными параметрами сошника с рыхлителем

Планирование эксперимента позволило установить количественные связи между усилием пружины, которое действует на каток, длиной тяги рыхлителя и скоростью сошника. Необходимо рассчитать количественные показатели степени взаимозависимости между разными параметрами и выявить закономерности их функциональных взаимодействий и взаимосвязей.

В работе Зиминой О.Г. приведено, что «для анализа криволинейных зависимостей используется корреляционное отношение. Несомненно, увеличение этого показателя ведет к усилению связи. Если показатель равен нулю, то зависимость отсутствует, а при значении, равном единице, фиксируется

полная корреляция между явлениями (Приложение I).

Корреляционное отношение рассчитывается как доля дисперсии между группами, разделённой на полную дисперсию

$$\eta = \sigma_{\text{мг } \delta} / \sigma_{\text{об } \delta}, \quad (4.8)$$

где $\sigma_{\text{мг } \delta}$ – разница между группами демонстрирует индивидуальные средние значения определенного параметра, рассчитанные для заданного интервала с усредненным значением отличительного параметра класса;

$\sigma_{\text{об } \delta}$ – суммарная вариация отображает усредненные значения данного параметра, полученные для выбранного диапазона с усредненным значением класса различного параметра.

Корреляционное отношение колеблется от 0 до 1. Значение, приближающееся к нулю, свидетельствует об отсутствии связи, тогда как значение, стремящееся к единице, говорит о сильной корреляции.

Исследование оценивало взаимосвязь, применяя корреляционный коэффициент согласно шкале Чеддока» [52].

Таблица 4.4 – Оценка связи на основе корреляционного отношения

Значение	Характер связи	Значение	Характер связи
$\eta = 0$	Отсутствует	$0,5 \leq \eta < 0,7$	Заметная
$0 < \eta < 0,2$	Очень слабая	$0,7 \leq \eta < 0,9$	Сильная
$0,2 \leq \eta < 0,3$	Слабая	$0,9 \leq \eta < 1$	Весьма сильная
$0,3 \leq \eta < 0,5$	Умеренная	$\eta = 1$	Функциональная

В ходе исследования влияния передвижения сеялки на равномерность заглубления семян скорость варьировалась от 1,5 до 4,0 м/с. Глубина посадки определялась по этиолированным частям растения после обнаружения по ширине не менее 75 % всходов после двойного прохода сеялки (рис. 4.2).

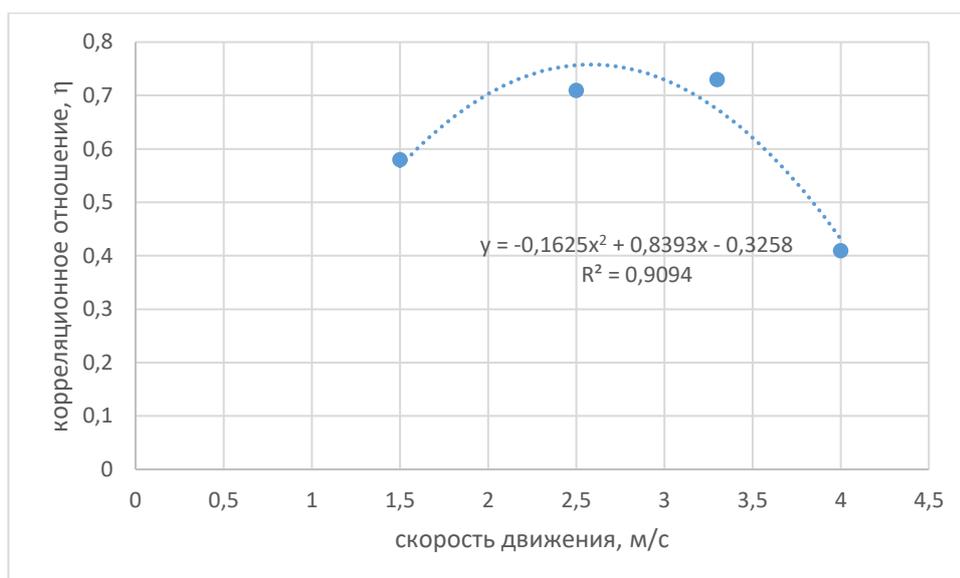


Рисунок 4.8 Диаграмма показателя важности связи (η), демонстрирующая равномерность глубины заделки семян в зависимости от скорости движения сошника (V , м/с)

Связь между параметром равномерности укладки семян на различных глубинах (η) и скоростью передвижения агрегата (V , м/с) выражается следующим уравнением (рис. 4.8):

$$y = -0,1625x^2 + 0,8393x - 0,3258 \text{ при } R^2 = 0,9094 \quad (4.9)$$

Анализируя полученную зависимость, можно заключить, что скорость существенно влияет на стабильность расположения семян на глубине. Оптимальные значения скорости сеялки рекомендуется устанавливать в пределах от 2,5 до 3,3 м/с, так как дальнейшее повышение скорости вызывает значительное увеличение нестабильности глубины заделки семян (рис. 4.1).

При исследовании влияния длины тяги рыхлителя (l) на показатель уровня связи (η), который характеризует стабильность глубины заделки семян, была получена следующая картина (рис. 4.3)

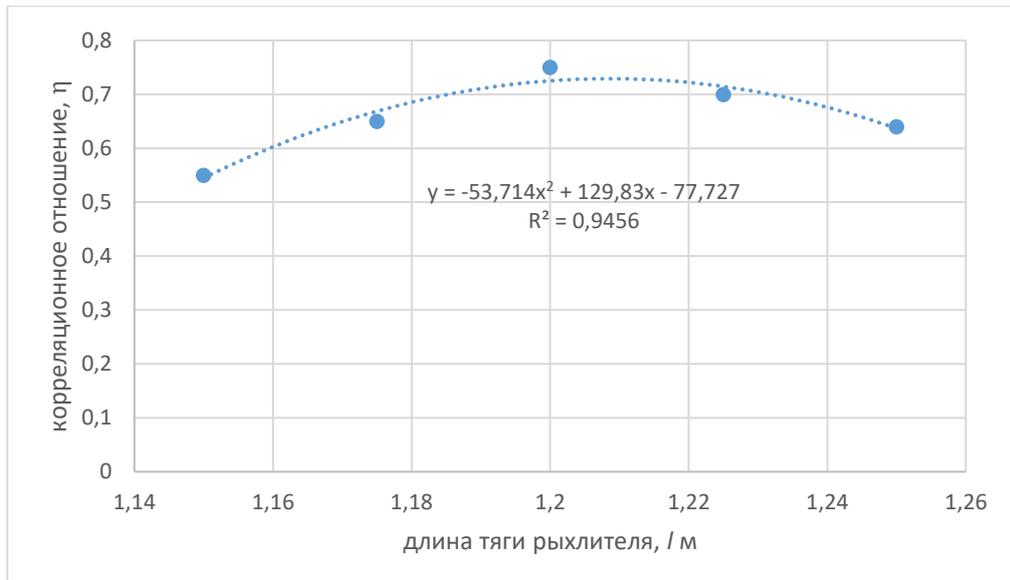


Рисунок 4.9. Показатель уровня связи (η), отражающий стабильность глубины заделки семян, зависит от длины тяги рыхлителя l , м

Корреляционная связь между длиной тяги рыхлителя (l) и показателем уровня связи (η), характеризующим равномерность глубины зарыхления семян, представлена параболическим уравнением:

$$y = -53,714x^2 + 129,83x - 77,727 \text{ при } R^2 = 0,9456 \quad (4.10)$$

На основании проведённого анализа можно сделать вывод, что длина тягового устройства рыхлителя (l) влияет на стабильное размещение семян зерновых культур по глубине. Значения, составляющие интервал от 0,2 до 0,215 м, можно считать оптимальными для длины тяги рыхлителя (l).

При изучении влияния жесткости пружины, действующей на каток (P) в зависимости от показателя уровня связи (η), характеризующего неравномерность глубины заделки семян, была получена следующая картина (рис. 4.10).

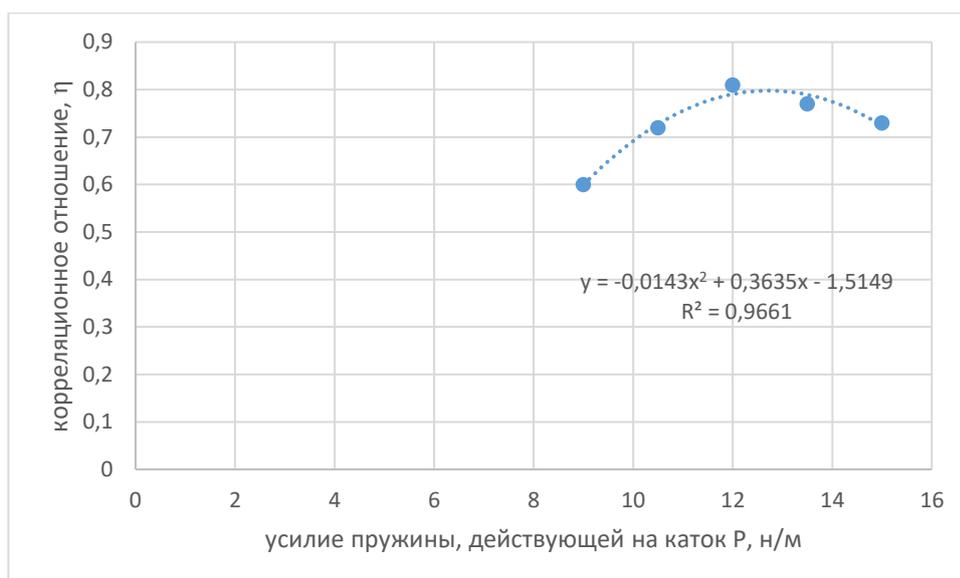


Рисунок 4.10. Зависимость индикатора качества заделки семян (η) от вариаций силы пружины, воздействующей на каток P, отражает неоднородность глубины заделки

Зависимость жесткости пружины, воздействующей на каток (P), от показателя уровня связи (η), определяющего однородность глубины заделки семян, описывается уравнением параболической функции:

$$y = -0,0143x^2 + 0,3635x - 1,5149 \text{ при } R^2 = 0,9661 \quad (4.11)$$

Таким образом, можно заключить, что из исследования зависимости жесткости пружины, воздействующей на каток (P), можно сделать вывод о ее влиянии на равномерность посева семян зерновых культур по глубине. Оптимальное значение жесткости пружины, воздействующей на каток (P), можно считать определенным диапазоном значений от 12,0 до 12,5 Н/м [102].

4.6. Оценка адекватности теоретических решений

Формула (2.53), созданная в результате исследований, описывает зависимость угла отклонения поводка сошника от равновесного положения (α_0) в виде экспоненты, определенной экспериментально. Вставляя найденные величины в формулу (2.53), мы можем найти максимально допустимые отклонения поводка, равные $\pm 1,1^0$ (0,019 рад). В таблице 4.5 представлены данные, соответствующие допустимым отклонениям.

Таблица 4.5 – Определение угла α_0

R_y , Н	R_x , Н	R_K^x , Н	R_K^y , Н	X_B , Н	Y_B , Н	Д	А	В	α , рад
180	140	30	40	20	20	51,3	-44,7	118	0,019
	160	32	40	22	20	51,1	-48,9	132	0,0068
	180	34	40	24	20	50,9	-53,1	146	-0,0067
200	160	24	30	16	20	51,8	-47,4	118	0,013
	170	26	30	18	20	51,7	-50	127	0,005
	180	28	30	20	20	51,5	-52,7	136	-0,0037

Проведенные испытания при скорости сошника $v=2,5$ м/с демонстрируют, что устойчивость работы экспериментального сошника определяется равномерной глубиной посева семян. Коэффициент корреляции составляет 0,8 (приложение 1), что свидетельствует о значительной связи. При средней глубине посева семян \bar{a} , равной 6,96 см, дисперсия между группами $\sigma_{мг\delta}$ составляет 0,72 см, а общая дисперсия $\sigma_{об\delta}$ равна 0,9 см, что соответствует агротехническим нормам (± 1 см).

4.7 Параметры для оценки тягового сопротивления

Исследования проводились в почвенном канале тяговых характеристик базового и экспериментального сошников в зависимости от глубины хода и скорости движения. Глубина хода сошников находилась в пределах $h = 0,05...0,08$ м, а скорость движения v варьировалась от 2...4 м/с.

Важно упомянуть, что по агротехническим правилам в засушливых степях Бурятии, где почва страдает от нехватки влаги, следует заделывать семена на глубину от 6 до 8 см. Наилучшее качество бороздки достигается при скорости не более 2,5 м/с; при превышении этого порога уровень качества снижается. Во время полевых испытаний сошники тестировались при заделке семян на глубину 6 см с рабочей скоростью до 2,5 м/с. Для заданных параметров построены графики, демонстрирующие теоретические и экспериментальные значения тягового сопротивления базового и экспериментального сошников (рис. 4.11...4.14).

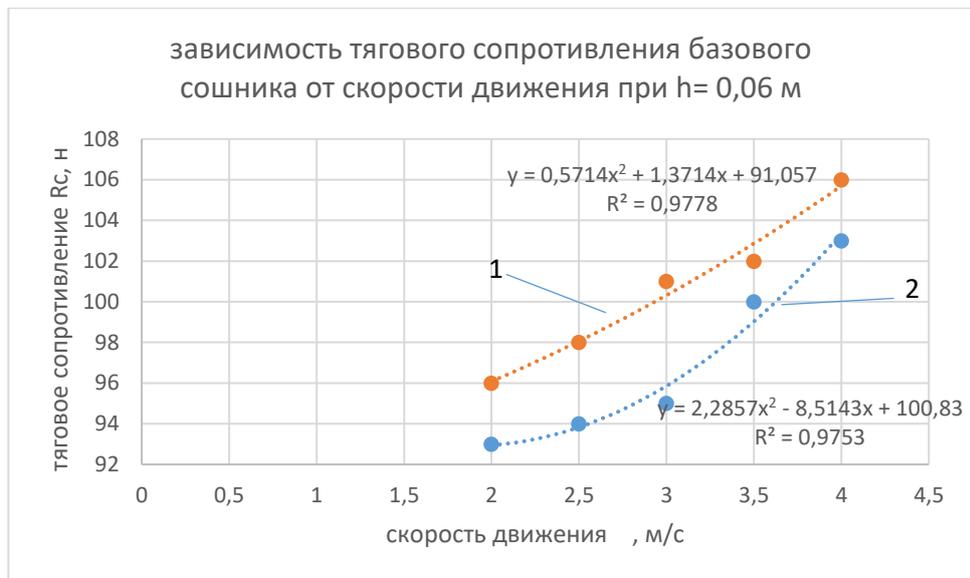


Рисунок 4.11. Изменения тягового сопротивления базового сошника от скорости движения при $h = 0,06$ м; 1 – теоретическая; 2 – экспериментальная

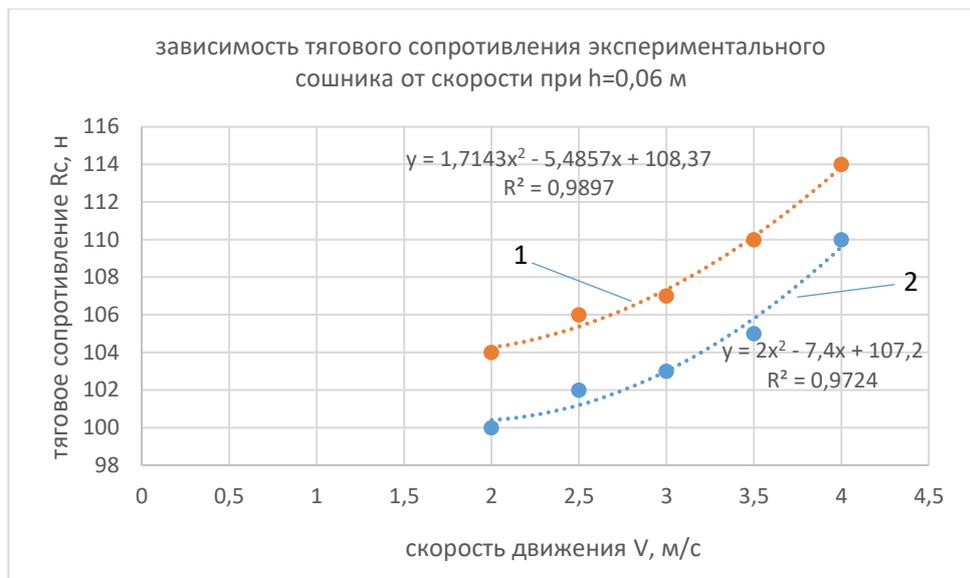


Рисунок 4.12. Изменения тягового сопротивления экспериментального сошника от скорости движения при $h = 0,06$ м; 1 – теоретическая; 2 – экспериментальная

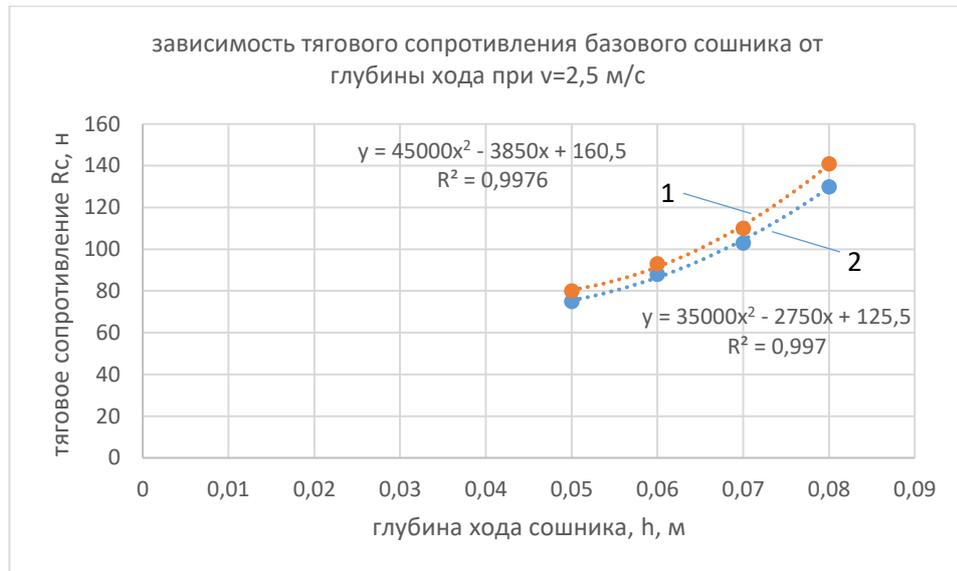


Рисунок 4.13. Изменения тягового сопротивления базового сошника от глубины хода сошника при $V = 2,5$ м/с; 1 – теоретическая; 2 – экспериментальная

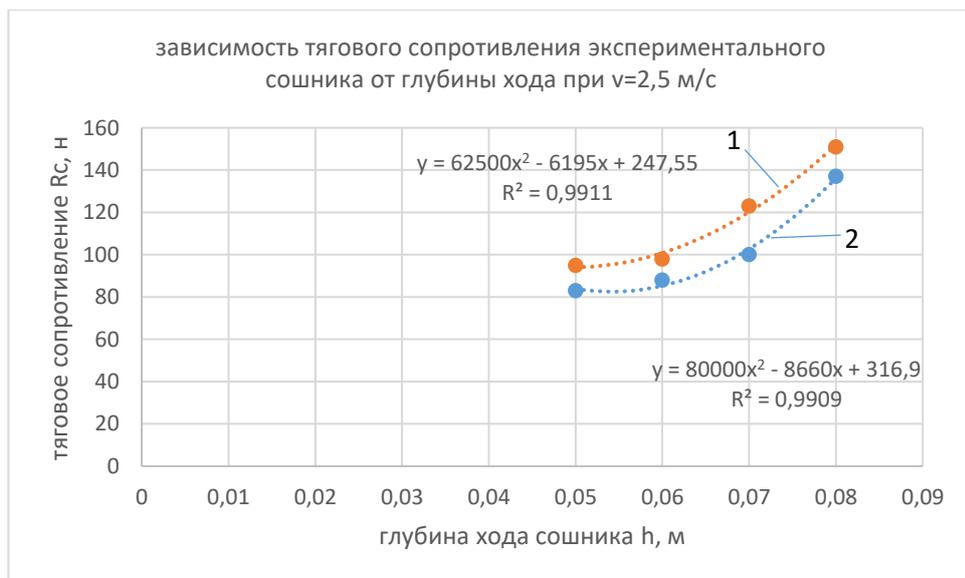


Рисунок 4.14. Варьирование тягового усилия опытного сошника в зависимости от его глубины хода при $V = 2,5$ м/с; 1 – теоретическая; 2 – экспериментальная

Для анализа результатов лабораторных исследований было использовано программное обеспечение Microsoft Excel.

В результате анализа лабораторных испытаний выведены математические выражения, описывающие зависимость тягового сопротивления от глубины заглабления и темпа передвижения сошников.

Согласно агротехническим нормам, увеличение глубины посева с 5 до 8 см увеличивает сопротивление движению на 32,7%, при этом увеличение скорости с 2 до 4 м/с повышает сопротивление передвижения сошника всего лишь на 9,5%. То же самое наблюдается и для экспериментального сошника, где увеличение сопротивления перемещению составляет 39,5 и 15,7% соответственно. Среднее сопротивление перемещению экспериментального сошника на 6,8% выше, чем у базового сошника. Это может объясняться тем, что наличие рыхлителя в экспериментальном сошнике создает дополнительное сопротивление движению, которое не изменяется при различной глубине.

Подобное происходит и при изменении скорости перемещения сошника.

Теоретическое тяговое сопротивление стандартного и модернизированного сошников R_c зерновой сеялки СЗУ-3,6

Таблица 4.6 – Тяговое усилие стандартного сошника, Н

Скорость движения, м/с	Глубина хода сошника, м			
	0,05	0,06	0,07	0,08
2	41,7	48,7	56,0	63,6
2,5	43,5	50,7	58,1	65,8
3,0	45,4	52,8	60,3	68,1
3,5	47,3	54,9	61,8	70,7
4	49,6	57,3	65,3	73,4

Таблица 4.7 – Сопротивление тяги модернизированного сошника, Н

Скорость движения, м/с	Глубина хода сошника, м			
	0,05	0,06	0,07	0,08
2	51,1	58,4	66,0	73,8
2,5	52,5	59,9	67,6	75,5
3,0	53,9	61,5	69,4	77,4
3,5	55,4	63,2	71,3	79,5
4	57,2	65,1	73,4	81,8

4.8 Механические свойства почвы и обоснование параметров рыхлителя

Среди ключевых характеристик, которые определяют особенности обработки почвы, следует отнести внутреннее и внешнее трение. Внутреннее трение, т. е. трение между частицами почвы, позволяет определить зону воздействия на почву рабочего органа почвообрабатывающего орудия; в тот момент, когда внешняя сила воздействия почвообрабатывающего орудия на почву превысит силу внутреннего трения, начинается деформирование, а затем образование бороздки от деформирования почвы. Наклон стенок бороздки от деформирования определяется углом внутреннего трения (рис. 4.15).

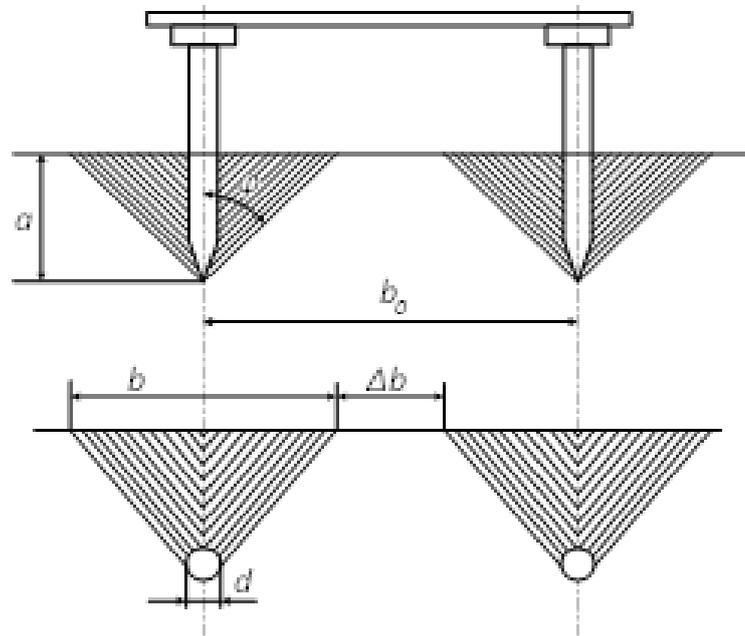


Рисунок 4.15. Зона действия рабочего элемента в зависимости от величины угла внутреннего трения φ : a – глубина обработки почвы; b – ширина рыхления; b_0 – расстояние между зубьями; Δb – ширина необработанной полосы почвы; d – диаметр зуба.

Сопротивление рыхлителя в процессе обработки почвы тесно связано со значением коэффициента трения «почва – рыхлитель». В то же время при любых почвенных условиях величина сопротивления почвообрабатывающего орудия также зависит от угла наклона рабочего органа, по поверхности которого перемещается почва и который представляет собой своего рода плоский клин, перемещающийся в почве. Чем больше угол установки этого клина, тем больше сопротивление орудия. При некотором значении угла установки рабочего органа

(клина), близком к значению угла внешнего трения, почва перестает перемещаться по его поверхности и начинает нагромождаться, вызывая этим дополнительный рост сопротивления. Этого можно избежать, если угол установки рабочего органа (клина), перемещающегося в почве, не будет превышать по величине угла внешнего трения.

Следовательно, изучение физико-механических характеристик поверхностей взаимного трения поможет определить оптимальные конструктивные параметры устройства для разрыхления почвы.

Эксперименты были проведены в почвенном канале кафедры МСХП Бурятской ГСХА.

С целью выявления и обоснования ключевых конструктивных параметров рыхлителя сошника были проведены исследования угла и коэффициента трения между трущимися поверхностями: «сталь - каштановая почва».

Значения углов трения приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Измерения угла трения

Трущиеся поверхности	Угол трения φ	Среднее значение угла трения φ
Сталь – супесчаная почва		30,7
1	29,9	
2	30,3	
3	30,7	
4	31,1	
5	31,5	

Согласно исследованиям, внутренний угол трения каштановой почвы в регионе Бурятии составляет $30,7^\circ$. Этот параметр определяет минимальное расстояние между рабочими элементами, необходимое для эффективной работы. Расстояние между зубьями при этом обеспечивает проникновение на необходимую глубину для рыхления верхнего слоя без нагромождения (см. рис. 4.15).

После проведения математического анализа полученных данных было установлено, что коэффициент вариации составляет менее 9%. Это свидетельствует о низком уровне рассеивания данных и о том, что в целом данные являются однородными. Погрешность опытов составила менее 5%.

Угол внешнего трения является критическим параметром, определяющим коэффициент трения между почвой и рабочим органом сельскохозяйственного инструмента, так как:

$$\mu = \operatorname{tg} \varphi,$$

где φ – угол внешнего трения.

В данном примере если значение угла внешнего трения составляет $30,7^\circ$, то коэффициент трения почвы о рыхлитель будет равен $\mu = 0,5800$.

Как показано на рисунке 4.15, при движении зуба происходит рыхление почвы, где плоскость рыхления имеет форму треугольника. Ширину полосы деформации на поверхности почвы можно определить с помощью следующего выражения:

$$B = d + 2a \operatorname{tg} \varphi,$$

где d – диаметр зуба, мм;

a – глубина обработки почвы, мм;

φ – угол трения, градус.

$$B = d + 2a \operatorname{tg} \varphi = 8 + 2 \times 20 \times 0,58 = 31,2 \text{ мм.}$$

Минимальное расстояние между зубьями, обеспечивающее предохранение рыхлителя от забивания или нагромождения, можно определить по формуле:

$$b_0 = 2 a \operatorname{tg} \varphi + d + \Delta b, \quad (4.12)$$

где Δb – необработанная часть почвы между соседними зубьями способствует перемещению по его поверхности без нагромождения, в противном случае вызывает этим дополнительный рост сопротивления. Из опытных данных рекомендуется принимать расстояние, равное толщине зуба.

$$b_0 = 2 \cdot 20 \cdot 0,58 + 8 + 8 = 39,2 \text{ мм}$$

Таблица 4.9 – Характеристика рыхлителя

Длина тяги рыхлителя, мм	Расстояние между зубьями, мм	Диаметр зуба, мм	Длина зуба, мм	Глубина хода, мм	Количество зубьев, шт.	Нагрузка на 1 зуб, Н	Тяговое сопротивление на 1 зуб, Н	Угол внешнего трения φ , град.	Ширина необработанной полосы почвы Δb , мм
210	39,2	8	30	20	5	6	12	30,7	8

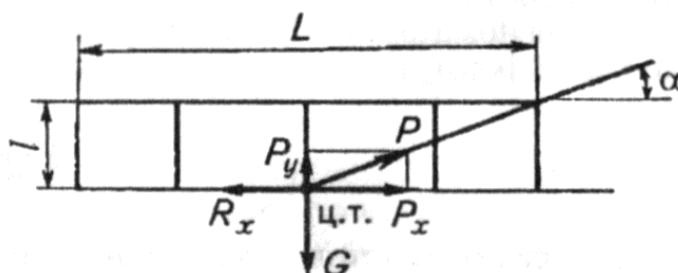


Рисунок 4.16. Схема сил, действующих на рыхлитель

Для устойчивого движения необходимо, чтобы линия тяги проходила через след центра тяжести борона (рис. 4.16). Это условие выполняется при

$$\alpha = \arctg(2l/L).$$

Сила тяжести звена борона

$$G = qz + P_0 z t g \alpha \quad (4.13)$$

обеспечивает необходимую нагрузку на зуб [39].

Длина зуба, мм

Длина рыхлителя, мм

g – нагрузка на один зуб, Н;

z – количество зубьев, шт;

P_0 – тяговое сопротивление одного зуба.

4.9 Результаты полевых испытаний зерновой сеялки СЗУ-3,6 с усовершенствованным сошником

Согласно отраслевому стандартному СТО АИСТ 5.1- 2006 «Сеялки тракторные. Методы испытаний», лабораторные испытания были проведены в 2021, 2022 и 2023 годах на полях ООО «ВИСТА» Бичурского района, СПК

«Ульдурга» Еравнинского района, СПК «Колхоз Искра» Мухоршибирского района (рисунки 4.17 и 4.18). Чтобы вычислить норму высева, взяли две выборки по 500 семян и взвесили их. Когда эти две выборки были объединены, получилось, что масса 1000 семян в среднем равнялась 43,57 г. Для расчета нормы высева по весу применяли следующий метод: сначала умножали массу 1000 семян на рекомендованную плотность посева, составляющую 5,6 миллиона всхожих семян на гектар, а затем полученное значение делили на коэффициент годности семян для посева. Это дало возможность установить весовое значение, равное 260 кг/га.



Рисунок 4.17. Посевной комплекс МТЗ-82.1 в сочетании с сеялкой зерновой узкорядной СЗУ-3,6



Рисунок 4.18. Модернизированные сошники сеялки зерновой узкорядной СЗУ-3,6

Анализ динамики роста и прорастания семян яровой пшеницы в полевых условиях выявил, что использование модернизированного сошника способствует появлению всходов на два дня раньше, по сравнению с традиционным сошником, при идентичных климатических и почвенных условиях. После применения модернизированного сошника максимальное

количество взошедших семян наблюдается через 6 дней и составляет, в среднем, 74,38%, в то время как при использовании стандартного сошника средняя всхожесть достигает 70,35% и требует 9 дней. Это происходит при посеве 260 кг/га, что эквивалентно 5,2 миллионам семян на гектар.

Повышение прорастания семян благодаря модернизированному сошнику в сравнении с обычным достигается в результате рыхления и выравнивания почвы над семенами. Это обеспечивает одинаковые условия для прорастания семян, что способствует более равномерному и успешному всходу, что, в свою очередь, положительно сказывается на развитии растений (рис. 4.19).

Таблица 4.10 – Изменение появления всходов и полевая всхожесть семян яровой пшеницы

Тип сошника	Норма высева, шт/м ²	Количество взошедших семян, шт.									Итого	Полевая всхожесть, %
		Дни месяца май										
		15	16	17	18	19	20	21	22	23		
Базовый сошник	520	0	0	95	214	119	164	183	194	197	197	70,35
Экспериментальный сошник, с рыхлителем-выравнивателем	520	52	83	125	166	199	208	208	208	208	208	74,38

Таблица 4.11 – Динамика зарождения всходов яровой пшеницы по дням от посева до появления при норме посева 5,2 млн/га

Тип сошника	Количество взошедших семян, шт									
	6-й	7-й	8-й	9-й	10-й	11-й	12-й	13-й	14-й	15-й
Базовый сошник		7	21	78	130	240	315	332	354	354
Экспериментальный сошник с рыхлителем	11	34	78	153	235	345	374	374	374	374

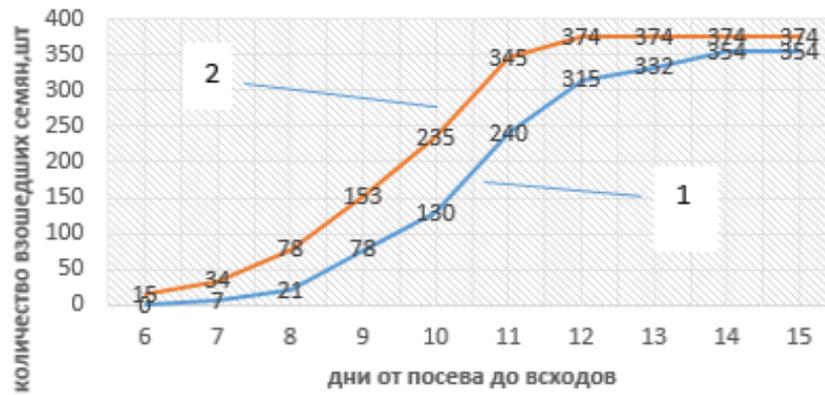


Рисунок 4.19. График прорастания семян: 1 – стандартный сошник; 2 – опытный сошник

Таблица 4.12 – Воздействие разновидности сошника на формирование и урожайность яровой пшеницы

Тип сошника	Норма высева семян, млн./га	Количество семян в заданном слое, %	Количество всходов, шт/м ²	Полевая всхожесть, %	Урожайность, ц/га
Базовый сошник	5,2	82	354	76	18,8
Экспериментальный сошник с рыхлителем	5,2	82	374	79	21,7

4.10. Выводы по главе

1. Путем теоретических исследований была выявлена экспонентная зависимость угла отклонения подвески сошника от равновесного положения $Y = -0,014 \dots + 0,004$ рад, которая соответствует следующим рациональным параметрам исследуемой модели: жесткость пружины, действующей на каток P , ($x_1 = 11,5 \dots 12,0$ Н/м); длина тяги рыхлителя $l_{т.р.}$, ($x_2 = 0,2 \dots 0,215$ м); скорость катка v , ($x_3 = 1,75 \dots 2,0$ м/с); ширина катка $B = 0,12$ м.

2. Создан ряд математических моделей работы экспериментального сошника, который включает прикатывание с рыхлением засеянного рядка, выражаемый через отклонение угла подвески сошника от его равновесного положения Y в зависимости от взаимосвязи между различными параметрами, описывающие области оптимальных условий, в соответствии с агротехническими требованиями.

ГЛАВА 5. АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ПРЕДЛАГАЕМОЙ ТЕХНОЛОГИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО СОШНИКА

5.1. Себестоимость конструкторской разработки

Чтобы оценить действенность и целесообразность технических решений, нужно провести технико-экономический анализ. При разработке конструкции требуется учитывать расходы на производство.

Цена создания проекта определяется с помощью формулы, руб.:

$$C_{кр} = C_{пр} + C_{м} + \frac{C_{пр} \cdot \%НР}{100}, \quad (5.1)$$

где $C_{пр}$ – основная и дополнительная оплата труда производственных работников, включая социальные взносы за рабочую смену, в рублях; $C_{м}$ – затраты на материалы для изготовления модернизированного рабочего органа, в рублях; $\%НР$ – часть административных расходов, %.

Сарсенов А.Е. применил «для вычисления расходов на основную заработную плату производственных сотрудников сложность выполняемых работ, их категорию и соответствующие почасовые ставки оплаты труда. Подробные расчеты приведены в таблице 5.1» [107].

Определение затрат труда осуществляется путем расчетов согласно стандартным временным нормам, применяемым для различных сельскохозяйственных задач, включая слесарные работы, кузнечное дело, сварку и работу на станках [82], предусмотрены дополнительные выплаты. Средний размер этих выплат колеблется от 10 до 15 процентов от базового оклада (например, 12% эквивалентно 8,80 руб.). Помимо этого, на социальные нужды выделяется сумма, составляющая 35,6% от общего дохода, который включает основную и дополнительную части (35,6% равны 26,10 руб.). Подробнее о расходах на материалы, необходимые для изготовления рыхлителя, можно найти в таблице 5.2.

Таблица 5.1 – Оплата труда рабочих, задействованных в производстве и установке рыхлителя

Виды работ	Трудоёмкость работ, ч	Разряд работ	Часовая тарифная ставка, руб.	Основная заработная плата, руб.
Слесарные	0,348	II	105,30	36,64
Токарные	0,609	III	117,70	71,68
Сверлильные	0,279	II	107,50	29,99
Сварочные	0,936	III	115,90	108,48
ИТОГО	2,172	—	—	246,79

Таблица 5.2 – Сырьё для производства рыхлителя

Наименование материалов и покупных изделий	Единица измерения	Количество	Стоимость, руб.	
			единицы	всего
Лист 2,5 Ст65Г ГОСТ 14959-79	м ²	0,0225	756	17,01
ИТОГО	—	0,0225	756	17,01

Общая стоимость изготовления рыхлителя оценивалась в 152,26 рубля.

Поскольку у сеялки имеется 24 сошника, расчет стоимости ее улучшения будет проводиться на основе следующего выражения:

$$C_d = C_{кр} \cdot n_c, \quad (5.2)$$

5.2. Идентификация показателей технической и экономической эффективности посевного комплекса

Научные исследования сосредоточены на улучшении эффективности сельскохозяйственного оборудования путем совершенствования конструкций рабочих деталей и интеграции передовых технологических процессов. Сопоставление основных технико-экономических параметров новой машины и текущих моделей наглядно показывает её исключительную производительность.

На экспериментальной сеялке с модернизированными сошниками была проведена оценка технико-экономической эффективности, сопоставляя её с

показателями сошников стандартной сеялки СЗУ-3,6. Для оценки экономической результативности были использованы соответствующие данные, полученные в ходе полевых исследований, а также сведения из нормативных и справочных источников [84].

Для оценки результативности использования экспериментальной сеялки используются следующие критерии:

- годовая экономическая выгода, выраженная в рублях от применения на протяжении года:

$$\Delta_{\Gamma} = V_{\Gamma}(P_{\text{Э}} - P_{\text{Б}} + \Delta_{\text{Д}}), \quad (5.3)$$

где V_{Γ} – ежегодная эффективность работы сеялки, га/год; $P_{\text{Э}}$ и $P_{\text{Б}}$ – затраты на посев одного гектара зерновых культур с применением экспериментальной и стандартной сеялки СЗУ-3,6 указаны в рублях на гектар; $\Delta_{\text{Д}}$ – увеличение производительности при использовании новой сеялки принесло значительную экономическую выгоду, руб./га;

– период возврата вложений в капитальные активы, год:

$$C_0 = \frac{B_{\text{Э}} - B_{\text{Б}}}{\Delta_{\Gamma}}, \quad (5.4)$$

где $B_{\text{Э}}$ и $B_{\text{Б}}$ – учетная стоимость опытной и массовой сеялки СЗУ-3,6, руб.

Количество работ, выполненных машиной за один год, га/год:

$$V_{\Gamma} = W_{\text{ч}} T_{\Gamma}, \quad (5.5)$$

где $W_{\text{ч}}$ – эффективность работы сеялки, га/ч; T_{Γ} – ежегодное использование сеялки, ч.

Затраты на посадку зерновых на один гектар, руб./га:

$$P = T_{\text{з}} + E k_{\text{уд}}, \quad (5.6)$$

где $T_{\text{з}}$ – расходы на содержание одного гектара зерновых посевов, руб./га;

E – коэффициент эффективности вложений ($E = 0,15$); $k_{\text{уд}}$ – инвестиции на гектар засеваемой площади зерновых культур в расчете на единицу, руб./га.

Финансовые последствия, руб./га:

$$\Delta_{\text{Д}} = \Delta U_{\text{Цп}}, \quad (5.7)$$

где ΔU – увеличение сбора урожая, т/га; Π – стоимость одной тонны товара, руб/т.

Оценочная стоимость заводской сеялки СЗУ-3,6, руб.:

$$B_B = \Pi \left(1 + \frac{\text{НДС} + \text{Н}_{\text{нац}}}{100\%} \right), \quad (5.8)$$

где Π – производственная цена в рублях; НДС – процент налога на добавленную стоимость, %; $\text{Н}_{\text{нац}}$ – процент торгово-снабженческой наценки, %.

Оценочная цена прототипа сеялки СЗУ-3,6, руб:

$$B_Э = B_B + C_{\text{кр}}, \quad (5.9)$$

где $C_{\text{кр}}$ – цена созданного устройства, руб.

Эффективность работы сеялки, га/ч:

$$W_ч = 0,1 B_{\text{агр}} v_p \tau, \quad (5.10)$$

где $B_{\text{агр}}$ – ширина захвата агрегата сеялки, м; v_p – рабочая скорость, км/ч; τ – коэффициент эффективности использования рабочего времени в смену.

Издержки на обслуживание одного гектара зерновых полей, руб/га:

$$T_з = Z_{\text{пп}} + Z_{\text{т}} + Z_{\text{а}} + Z_{\text{хр}} + Z_{\text{то}} + Z_{\text{стр}}, \quad (5.11)$$

где $Z_{\text{пп}}$ – затраты на оплату труда с учетом социальных выплат, руб./га; $Z_{\text{т}}$ – затраты на топливо и смазочные средства, руб./га; $Z_{\text{а}}$ – затраты амортизацию, руб./га; $Z_{\text{хр}}$ – расходы на хранение оборудования, руб./га; $Z_{\text{то}}$ – затраты на техническое обслуживание и ремонт, руб./га; $Z_{\text{стр}}$ – расходы на автострахование, руб./га.

Капитальные затраты на один гектар зернового посева:

$$K_{\text{уд}} = \frac{B}{B_{\text{г}}}. \quad (5.12)$$

Расходы на заработную плату вместе с социальными начислениями, руб./га:

$$Z_{\text{пп}} = \left(\frac{k_{\text{отгч}}}{100} + 1 \right) \frac{(C_{\text{тм}} + C_{\text{тв}}) k_{\text{сл}} (1 + k_{\text{доп}}) L}{W_ч}, \quad (5.13)$$

где $C_{\text{тм}}$ и $C_{\text{тв}}$ – заработная плата механизаторов и их помощников варьируется в

зависимости от выполненного объема работы и определяется по часовому тарифу, руб./ч; $k_{сл}$ – коэффициент сложности работ; $k_{доп}$ – коэффициент премирования за дополнительно выполненные задачи; L – численность персонала, занятого обслуживанием, чел.; $k_{отч}$ – доля бюджета, предназначенная для общественных нужд, %.

Расходы на горюче-смазочные материалы, руб./га:

$$З_T = N_T \cdot Ц_T, \quad (5.14)$$

где N_T – расход горюче-смазочных материалов по норме, кг/га; $Ц_T$ – цена 1 кг горюче-смазочного материала, руб./кг;

Расходы на амортизацию техники, руб./га:

$$З_a = \frac{БН_a}{100 \cdot W_q \cdot T_r}, \quad (5.15)$$

где $Н_a$ – эталон для определения амортизации основных активов, %.

Расходы на содержание оборудования, руб./га:

$$З_{xp} = \frac{БН_{xp}}{W_q \cdot T_r}, \quad (5.16)$$

где $Н_{xp}$ – норма расходов на содержание техники, %.

Расходы на обслуживание и ремонт автомобилей, руб./га.

$$З_{то} = \frac{БН_{то}}{100 W_q \cdot T_r}, \quad (5.17)$$

где $Н_{то}$ – расходы на поддержание и ремонт автотранспорта, соответствующие нормативам, %.

Затраты на страхование транспортного средства, руб./га:

$$З_{стр} = \frac{БН_{стр}}{100 W_q \cdot T_r}, \quad (5.18)$$

где $Н_{стр}$ – доля стандартных затрат на страхование автомобилей.

Необходимые для выполнения расчетов данные приведены в таблице 5.3.

Применение инновационной сеялки модели СЗУ-3,6 на полях с зерновыми культурами в течение одного года приводит к значительной экономической выгоде, оцениваемой в 75391 руб.

Применение инновационной сеялки СЗ-3,6 улучшает процесс посева зерновых культур, что способствует повышению урожайности на 0,13 т/га. Благодаря увеличению производства дополнительной продукции ежегодная экономия каждой сеялки достигает 910 руб./га. Это уменьшает прямые эксплуатационные затраты (цены актуальны на 2022 год).

Таблица 5.3 – Начальные данные для определения технических и экономических характеристик сеялок

Показатели	Сеялка	
	серийная	экспериментальная
Цена завода-изготовителя C , руб	287000	
Рабочая скорость v_p , км/ч	8,9	
Ширина захвата сеялки $B_{зх}$, м	3,6	
Производительность W_4 , га/ч	2,72	
Загрузка сеялки в течении года T_z , ч	85	
Коэффициент использования рабочего времени смены m	0,85	
Часовая тарифная ставка механизатора за выполнение работ $C_{тм}$, руб./ч	322	
Часовая тарифная ставка вспомогательных рабочих за выполнение работ $C_{тв}$, руб./ч	196	
Коэффициент сложности работ $K_{сл}$	1,2	
Коэффициент дополнительной оплаты $K_{дон}$	1	
Количество обслуживающего персонала L , чел.	2	
Норматив отчислений на социальные нужды & ОТЧ? %	31	
Норма расхода ГСМ Y_t , кг/га	3,6	
Цена 1 кг ГСМ C_m , руб./кг	36	
Норматив амортизационных отчислений Y_a , %	11	
Норматив затрат на хранение машин $\#_{зр}$, %	3	
Норматив затрат на техническое обслуживание и ремонт машин $Y_{то}$, %	18	
Норматив затрат на страхование машин $Y_{стр}$, %	0,45	

Таблица 5.4 содержит информацию, необходимую для вычисления технико-экономических параметров сеялок.

Таблица 5.4 – Технические и экономические показатели

Показатели	Сеялка	
	сошник с вогнутым прикатывающим катком (базовый)	сошник с вогнутым прикатывающим катком с рыхлителем выравнивателем(экспериментальный)
Балансовая стоимость B , руб.	495000,0	525000,0
Наработка сеялки в течение года B_a , га/год	250,5	250,5
Капитальные вложения на 1 га посева зерновых культур $k_{зд}$, руб./га	1626,9	1742,7
Приведённые затраты на 1 га посева зерновых культур базовой и экспериментальной сеялки $П$, руб./га	5787,6	5936,7
Экономический эффект от применения экспериментальной сеялки $Э_d$, руб./га	-	276,9
Экономический эффект в течение года $Э_r$, руб./год	-	75391

5.3 Выводы по главе

Проведенный анализ экономической эффективности экспериментальной и зерновой сеялки модели СЗУ-3,6 отмечает следующие результаты:

- благодаря дополнительным инвестициям в модернизацию сеялки эксплуатационные издержки опытного образца составляют 58 руб./га, что выше по сравнению с базовой версией;

- применение инновационной сеялки совершенствует процесс всхожести семян зерновых культур, в результате это приводит к увеличению урожайности в среднем на 0,13 тонны с каждого гектара площади;

- применение экспериментальной сеялки приводит к увеличению объема произведенной продукции, что дает возможность сэкономить до 910 рублей на гектаре прямых эксплуатационных затрат;

- при установленных нормах годовой нагрузки на экспериментальную сеялку СЗУ-3,6 в 95 часов годовой экономический эффект достигает 75 391 рубля (в ценах 2022 года).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Создана конструктивно-технологическая схема сошника с прикатывающим катком и рыхлителем для посева зерновых культур, для которой разработали уравнение. Это уравнение описывает экспоненциальную зависимость угла отклонения подвески сошника $\alpha = \pm 1,1$ градуса от его равновесного положения при $\alpha_0 = 74$ градуса, при этом высота подвеса сошника H составляет 0,33 м, а длина поводка l равна 0,55 м. Созданная зависимость описывает угол отклонения подвески сошника от ее исходного положения, что оказывает влияние на стабильность глубины посадки семян в допустимых агротехнических пределах (± 1 см) при рабочей глубине сошника от 6 до 8 см.

2. Разработана математическая модель, представленная как уравнение второго порядка, которая описывает критерий оптимизации, зависящий от сочетания параметров катка, а также включает описание области оптимальных значений. По результатам планирования эксперимента получено среднее значение глубины заделки семян $h=6,97$ см, при значении факторов: жесткость пружины, действующей на каток P ($x_1= 11,5... 12,0$ Н/м); длина тяги рыхлителя $l_{т.р.}$, ($x_2 = 0,2 ... 0,215$ м); скорость катка v ($x_3 = 1,75...2,0$ м/с); ширина катка $B=0,12$ м.

3. Исследования показали, что при увеличении глубины, на которую углубляется основной сошник для посева, с 0,05 до 0,08 метра, сопротивление движению возрастает на 30,66% при скорости 2,5 м/с. В то же время, если увеличить скорость с 2 до 4 м/с, сопротивление движению сошника увеличивается на 10,75%. Аналогичная ситуация возникает и с экспериментальным сошником, что соответствует увеличению сопротивления движению по сравнению с экспериментальным на 40,96 и 15,5 % соответственно. Сопротивление движению экспериментального сошника в среднем на 10,3% больше, чем у базового сошника. Эту ситуацию можно объяснить тем, что присутствие рыхлителя в экспериментальном сошнике увеличивает сопротивление при движении, при этом его величина остается постоянным независимо от изменения глубины.

4. Обоснованы рациональные параметры рыхлителя сошника: расстояние между зубьями $b_0 = 39,2$ мм; диаметр зуба $d = 8$ мм; длина зуба $l = 30$ мм; количество зубьев $n = 5$ шт.

5. Обработка экспериментальных исследований позволила установить, что равномерность глубины заделки семян на глубину 7 см достаточно тесно связана с выбранными в модели параметрами. Так, тесная связь между равномерностью глубины заделки семян и скоростью сошника составляет $v = 2,0$ м/с в виде корреляционного отношения $\eta=0,77$. Тесная связь между равномерностью глубины заделки семян и длиной тяги рыхлителя $l_{т.р.} = 0,215$ м в виде корреляционного отношения составляет $\eta=0,73$. Тесная связь между равномерностью глубины заделки семян и жесткостью пружины, действующей на каток $P = 12,0$ Н/м в виде корреляционного отношения составляет $\eta=0,8$.

6. Полевые испытания продемонстрировали результативность зерновой сеялки с сошником, оборудованным прикатывающим катком и рыхлителем, при посеве зерновых культур. Благодаря рыхлению почвы над засеянной полосой улучшается всхожесть, что позволяет сократить сроки формирования урожая на 2-3 дня и повысить урожайность на 13-15%. Ежегодная экономическая выгода от использования зерновой сеялки СЗУ-3,6 с указанными сошниками при стандартной годовой нагрузке достигает 75391 рубля.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Агейчик В.А., Точитский А.А., Михневич Н.А. Возможности распределения семян по глубине сошниками зерновых сеялок. // Механизация земледелия и животноводства / Сб. науч. тр. ЦНИИМЭСХ. – Минск: 1982. - С. 38...42.
2. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование экспериментов при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
3. Азовцев Н.Г., Кляцис, Козловский П.И., Ширяев А.М. Комплексы новых машин для возделывания и уборки зерновых и технических культур // Учебные пособия. – М.: Колос, 1972. – 200 с.
4. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Н.Д. Основы моделирования и первичная обработка данных. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 474 с.
5. Акулов В.М. Исследование технологического процесса прикатывания почвы каточками сеялки-культиватора: дис...канд. техн. наук. – Челябинск. 1973. -179 с.
6. Алабужев П.М., Геронимус В.Б., Минкевич Л.М., Шеховцев Б.А. Теория подобия и размерностей. Моделирование. – М.: Высшая школа, 1967. – 208с.
7. Атаманюк Л. К., Оптимальная плотность пахотного слоя черноземных почв Молдавии для зерновых культур [Текст] / Л. К. Атаманюк. - Л.: Гидрометеиздат, 1968. - В. 1. Теоретические вопросы обработки почв. - С. 157-16
8. Аудов М.А., Нукушева С.А., Юрина Т.А. Исследование эксплуатационно-технологических характеристик сеялок прямого посева // Техника и оборудование для села. 2020. №1. С. 10-17.
9. Бадмацыренов Д.-Ц.Б., Дамбаева Б.Е., Монгуш А.О.А. О проектировании технологических процессов возделывания сельскохозяйственных культур. Globus: Технические науки. 2021. т. 7. № 2 (38). С. 42-45.
10. Бадмацыренов Д.-Ц.Б. Разработка и обоснование параметров

сошника с прикатывающим катком в условиях Бурятии. Автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. – Улан-Удэ. 2022. – 20 с.

11. Бадмацыренов Д.-Ц.Б. Разработка и обоснование параметров сошника с прикатывающим катком в условиях Бурятии: дис....канд. техн. наук. – Улан-Удэ. 2022. -128 с.

12. Барботько А.И., Гладышкин А.О. Основы теории математического моделирования: Уч. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – Старый Оскол: ТНТ, 2009. – 212с.

13. Батудаев А.П., Бохиев В.Б. Севообороты адаптивного земледелия Бурятии: Методические рекомендации. – Улан-Удэ: Изд-во БГСХА, 2002. – 58с.

14. Батудаев А.П., Бохиев В.Б., Уланов А.К. Севообороты и плодородие почв Бурятии. – Улан-Удэ: Изд-во БГСХА, 2004. – 225с.

15. Батудаев А.П., Бохиев В.Б., Цыбиков Б.Б. Адаптивно-ландшафтная система земледелия Бурятии: Уч. пособие. – Улан-Удэ: Изд-во БГСХА, 2009. – 110 с.

16. Батудаев А.П., Цыбиков Б.Б. Системы земледелия: Учебное пособие. – Улан-Удэ: Изд-во БГСХА, 2008. – 132 с.

17. Боков Д. В. Совершенствование технологии заделки семян в почву и обоснование конструкции заделывающего рабочего органа [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01/ Боков Дмитрий Владиславович. – Саратов, 2004. – 171 с.

18. Бохиев В.Б., Батудаев А.П., Лапухин Т.П. Научные основы систем земледелия Бурятии. – Улан-Удэ: Изд-во БГСХА, 2008. – 480 с.

19. Бохиев В.Б., Бохиев Б.В. Научные основы и практические приемы обработки и защиты почв в бассейне озера Байкал. – Улан-Удэ: Изд-во БГСХА, 2003. – 240 с.

20. Бохиев В.Б., Урбазаев Н.М. Почвозащитное земледелие в Бурятии. – Улан-Удэ: Бурятское книжное изд-во, 1979. – 91 с.

21. Бродский А.Д. Краткий справочник по математической обработке результатов измерений / АД. Бродский, В.С. Канн. - М.: Стандартиздат, 1976. - 167 с.

22. Бузенков Г. М. Машины для посева сельскохозяйственных культур [Текст] / Г. М. Бузенков, С. А. Ма. – М.: Машиностроение, 1987. – 272 с.
23. Вадюнина А.Ф. Методы исследования физических свойств почв [Текст] / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина .- 3-е изд., перераб. и доп.- М.: Агропромиздат, 1986. - 416 с.
24. Валге А.М. Математическое моделирование технологических процессов сельскохозяйственного производства по экспериментальным данным / Методические рекомендации. – Л., 1980. – 83 с.
25. Варава А.Н. Влияние неравномерности высева зерновых культур на распределение семян и урожай в Южном Казахстане. // Точный посев зерновых и пропашных культур. – М.: ВИСХОМ, 1984. – С. 40...42.
26. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. - М.: Колос, 1973. - 196 с.
27. Веников В.А. Теория подобия и моделирования. Изд. 2-е, доп. и перераб. – М.: Высшая школа, 1984. – 438 с.
28. Волков С.Н. Экономико-математические методы и модели в землеустройстве. – М.: Колос, 2007. – 696 с.
29. Вольф В.Г. Статистическая обработка данных / В.Г. Вольф. - М.: «Колос», 1996. -254 с.
30. Вьюрков В. В. Озимые хлеба. Система ведения сельского хозяйства Западно-Казахстанской области [Текст] / В. В. Вьюрков, В. Г. Архипкин. – Уральск, 2004. – С. 72-82.
31. Вьюрков В. В. Яровые хлеба. Система ведения сельского хозяйства Западно-Казахстанской области [Текст] / В. В. Вьюрков, В. Г. Архипкин, В. С. Кучеров, Г. В. Гуз. – Уральск, 2004. – С. 82-89.
32. Габаев А.Х. Конструктивно-технические решения повышения эффективности работы сеялки в условиях повышенной влажности почв. Автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. – Нальчик. 2017. – 20 с.
33. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. - М.: «Высшая школа», 1977. -479 с.

34. Горбачёв С. П. Улучшение качественных показателей заделки семян при посеве зерновых культур совершенствованием дискового сошника [Текст]: автореф. дис канд. техн. наук: 05.20.01/ Горбачёв Семён Павлович. Волгоград, 2013. – 18 с.
35. Горбунов Б.И., Пасин А.В., Кистанов Е.И., Ошурков М.В., Пасин П.А., Завьялов А.В. Совершенствование сошника для посева льна // Сельский механизатор. 2018. № 3. С.11.
36. ГОСТ 10.5.1-2000. Испытание сельскохозяйственной техники. Машины посевные. Методы оценки функциональных показателей.
37. ГОСТ 34393-2018. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. М.: Стандартиформ. 2018. 12 с.
38. ГОСТ 70.5.1-82. Испытание сельскохозяйственной техники. Машины посевные.
39. Горшенин В.И., Дробышев И.А., Михеев Н.В., Королёва Н.М. Машины и оборудование в растениеводстве: раздел «Основы теории и расчета сельскохозяйственных машин». Издательство Мичуринский государственный аграрный университет, 2006. – 43 с.
40. Гречушкин М.Е. К вопросу о безрядковом способе посева. // Механизация работ в полеводстве / Сб. тр. Саратовского СХИ, вып. 49. – Саратов: 1975. – С. 97...100.
41. Гринев В.М. Способы посева и урожай зерновых и пропашных культур. – М.: ВИСХОМ, 1984. – С. 32...34.
42. Гудзь В.П. Агробиологическое обоснование точного посева интенсивных сортов зимой пшеницы. // Точный посев зерновых и пропашных культур. – М.: ВИСХОМ, 1984. – С. 11...15.
43. Гулятьева В.В., Кондратец Л.И., Суворова Л.Т. Прямой посев зерновых. // Механизация и электрификация с.х., - 1936, № 5. – С. 60...62.
44. Дамбаева Б.Е., Петров В.А., Раднаев Д.Н., Муруев Т.С., Гомбоев Б.Г. Модель объекта исследования при системном подходе. Стратегия и перспективы развития агротехнологий и лесного комплекса Якутии до 2050 года:

[Электронный ресурс]: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. — Москва: Знание-М, 2022, С. 244-247.

45. Дамбаева Б.Е., Раднаев Д.Н. К вопросу о металлоемкости посевных машин и комплексов. Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: материалы всероссийской научно-практической конференции (Благовещенск, 20–21 апреля 2023 г.). [В 3 т.]. Т. 2. – Благовещенск: Дальневосточный ГАУ, 2023. С. 57-64.

46. Дамбаева Б.Е., Стрекаловская З.Ю., Лосолов М.Ж., Пурбуев Д.Б., Цыбиков Э.Д. К проблеме равномерного распределения семян зерновых культур по площади. Сборник научно-исследовательских работ по итогам научно-практической конференции «Ларионовские чтения-2023». Якутск, 17 февраля 2023 г.: в 2 ч. [Электронный ресурс] / Мин-во сельского хозяйства РФ, Арктический ГАТУ ; [редкол.: Ю.А. Шапошников, А.А. Абидуев]. – Якутск : Издательский дом СВФУ, 2023. С. 118-123.

47. Джашеев А-М.С. Обоснование технологических параметров сеялки для заделывания мелких семян в почву // Техника и оборудование для села. 2020. №2. С. 16-18

48. Доспехов Б.А. Методика проведения полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. - М.: Агропромиздат, 1985. - 351 с.

49. Егоров А.С. Разработка орудия для прикатывания почвы с обоснованием его оптимальных параметров и режимов работы: дис....канд. техн. наук. – Ульяновск. 2020. - 169 с.

50. Епифанцев В.В., Осипов Я.А., Вайтехович Ю.А. Сошники для выращивания экологически безопасной сои // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2020. – № 3. – С. 59-65.

51. Земледелие в Забайкалье: учебное пособие / А. П. Батудаев, Б. Б. Цыбиков, В. А. Соболев // - Улан-Удэ: Изд- во БГСХА имени В. Р. Филиппова, 2016. - 348 с.

52. Зими́на О.Г. Разработка и обоснование параметров сошника для

посева с внесением удобрений ниже уровня семян: дис...канд. техн. наук. – Улан-Удэ. 2021. -149 с.

53. Зими́на О.Г., Серге́ев Ю.А., Ба́дмацыренов Д-Ц.Б. Технологический процесс комбинированного сошника стерневой сеялки / // Инженерное обеспечение и технический сервис в АПК материалы международной научно-практической конференции, посвященная 80–летию доктора технических наук, профессора Сергея Ю.А./ Улан-Удэ: изд-во БГСХА, 2019. – С. 56-63.

54. Змеевский В.Т. Зависимость урожая от неравномерности и нормы высева семян зерновых культур в Краснодарском крае. // Точный посев зерновых и пропашных культур. – М.: ВИСХОМ, 1984. – С. 35...40.

55. Иванов П. К. Плотность почвы и плодородие [Текст] / П. К. Иванов, Л. И. Коробова. // Теоретические вопросы обработки почв. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – С. 45-53.

56. Калашников С.С., Дамбаева Б.Е. К вопросу повышения качества посева зерновых культур. В сборнике: Образование и наука. Материалы X Национальной научно-практической конференции. сер. "Технологии и технические средства в АПК. Биомедицинская техника" Улан-Удэ, 2021. С. 12-17.

57. Калашников С.С. Некоторые результаты исследования распределения семян по площади при посеве модернизированным дисковым сошником / Д. Н. Раднаев, С. С. Калашников. - Текст: непосредственный // Вестник БГСХА им. В. Р. Филиппова. - Улан-Удэ: Изд-во БГСХА, 2015. - № 2 (39). - С. 52 - 57.

58. Кардашевский С.В. Высевающие устройства посевных машин // Теоретические основы и модели исследования равномерности распределения семян. М.: Машиностроение, 1973. - 175 с.

59. Кленин Н. И. Сельскохозяйственные машины [Текст]: учеб. для вузов / Н. И. Кленин, С. Н. Киселёв, А. Г. Левшин. – М.: КолосС, 2008. – 816 с.

60. Кобяков И.Д., Шевченко А.П., Евченко А. В. Зерновая сеялка для полосного посева // Сельский механизатор. 2019. № 12. С. 12.

61. Ковлягин Ф.В., Коробейникова Д.С., Зинина Р.Н. Урожай озимой пшеницы при различных способах посева / Точный посев зерновых и пропашных культур. – М.: ВИСХОМ, 1984. – С. 19...22.
62. Ковриков И.Т. Основы научных исследований: Учебники и учебные пособия для вузов. – Оренбург, 1999. – 208 с.
63. Кожевников Г.Н. Разработка метода физического моделирования процессов почвообработки в условиях почвенного канала / Автореф. дис ... канд. техн. наук. – М.: 1975. – 29 с.
64. Кокошин С.Н., Киргинцев Б.О., Ташланов В. И. Регулирование глубины посева дисковым сошником с адаптивной подвеской / Сельский механизатор. 2018. № 12. С. 4-5.
65. Короневский В.И. Урожай озимой ржи при различной ширине междурядья и норме высева. // Точный посев зерновых и пропашных культур. – М.: ВИСХОМ, 1984. С. 29...32.
66. Крючин Н. П. Посевные машины. Особенности конструкций и тенденции развития [Текст]: учеб. пособие для вузов / Н. П. Крючин. – Самара, 2003. – 116 с.
67. Курилович К.К. Исследование некоторых физико-механических свойств семян / Сб. науч. тр. Белорусской с.х. академии, т. 100. – Горки: 1973, - С. 71...74.
68. Ламан Н. А. Потенциал продуктивности хлебных злаков: технологические аспекты реализации [Текст] / Н. А. Ламан, Б. И. Янушкевич, К. И. Хмурец. – Минск: 1987. – 224 с.
69. Ламан Н. А., Янушкевич Б. И., Хмурец К. И. Потенциал продуктивности хлебных злаков: технологические аспекты реализации [Текст] / Н. А. Ламан, Б. И. Янушкевич, К. И. Хмурец. – Минск: 1987. -224 с.
70. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины. Изд. 3-5. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1955. – 764 с.
71. Любушко Н.И. Сошники зерновой сеялки для равномерной заделки семян на заданную глубину. // Точный расчет зерновых и пропашных культур. –

М.: ВИСХОМ, 1984. – С. 53...55.

72. Ма С. А. Технологические основы посева сельскохозяйственных культур и перспективы развития сеялок [Текст] / С. А. Ма // Сб. науч. тр. ВИМ. – М.: 1990. – Т.124. – Технологические и теоретические основы посева сельскохозяйственных культур. – С. 6-16.

73. Мартынов И.С., Шапров М.Н. Разноуровневый гнездовой посев семян пропашных культур / Сельский механизатор. 2019. № 8. С. 10-11.

74. Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рощин М.П. Планирование экспериментов исследования сельскохозяйственных процессов. – Л.: Колос, 1972. – 200с.

75. Методы определения условий испытаний [Текст]: ГОСТ 20915-75. - Введен с 01.01.77 до 01.01.82. -М.: Изд-во стандартов, 1977. -34 с.

76. Михневич Н.А. Определение оптимальной глубины и равномерной заделки семян зерновых. // Механизация и электрификация с.х. / Сб. н. тр. Аспирантов. – Минск: 1978. – 76...78.

77. Мударисов С.Г., Аминов Р.И., Фархутдинов И.М., Мухаметдинов А.М. Рабочий орган для разноуровневого внесения удобрений и посева семян. // Сельский механизатор. 2019. № 5. С. 8-9.

78. Мустапха К. А. Совершенствование технологии высева семян зерновых культур и параметров дисковых сошников для заделки их в почву: дис... канд. техн. наук: 05.20.01. – Харьков, 1996. – 252 с.

79. Наземные тягово-транспортные системы. Т.1-3/ под ред. Ксеневица И.П. М.: Машиностроение, 2003.

80. Обработка почвы в полеводстве Бурятии: учебное пособие / А. П. Батудаев, Б. Б. Цыбиков, Н. Н. Мальцев, В. П. Терентьев; ФГБОУ ВО «Бурятская ГСХА имени В. Р. Филиппова». - Улан-Удэ: Изд-во БГСХА имени В. Р. Филиппова, 2016. - 186 с.

81. Овтов В.А., Абросимов М.Ю. Сошник для посева для мелкосеменных культур // Сельский механизатор. 2020. № 7. С. 11-12.

82. Патент на полезную модель RU 196015 U1. Сошник. Раднаев Д.Н.,

Калашников С.С., Бадмацыренов Д-Ц.Б., Калашников С.Ф. Заявка № 2019112132 от 22.04.2019. Оpubл. 13.02.2020. Бюл. №5.

83. Патент на полезную модель RU 209248 U1. Усовершенствованный сошник. Раднаев Д.Н., Пехутов А.С., Дамбаева Б.Е., Калашников С.С., Заявка № 2021112614 от 28.04.2021. Оpubл. 09.02.2022. Бюл. №4.

84. Перетятыко А. В. Совершенствование технологии распределения семян при подпочвенно-разбросном способе посева и обоснование конструкции лапового сошника [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.20.01. – Саратов, 2007. – 187 с.

85. Петров В.А., Дамбаева Б.Е., Раднаев Д.Н. Анализ конструкций сошников для посева зерновых культур. Стратегия и перспективы развития агротехнологий и лесного комплекса Якутии до 2050 года: [Электронный ресурс]: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. — Москва: Знание-М, 2022, С. 265-273.

86. Петров В.А., Раднаев Д.Н., Дамбаева Б.Е. К вопросу совершенствования рабочего органа для посева зерновых культур. В сборнике: образование и наука. Материалы национальной научно-практической конференции. Улан-Удэ, 2022. С. 10-17.

87. Петров В.А., Раднаев Д.Н., Шалбаева Р.Г. К методике измерения тягового сопротивления. В сборнике: Приоритетные направления научно-технологического развития аграрного сектора России. Материалы всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной Дню российской науки. Улан-Удэ, 2023. С. 393-400.

88. Планирование промышленных экспериментов (модели динамики) /Горский В.Г., Адлер Ю.П., Талалай А.М. – М.: Металлургия, 1978. – 102 с.

89. Погорелый Л.В. Статистическое представление внешних условий и процессов работы мобильных агрегатов /Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1971.- №11. – С.45-50.

90. Погорелый Л.В., Максимчук В.П. Вероятностный метод определения оптимальных параметров агрегатов /Механизация и

электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1968. - №4. – С.8-11.

91. Припоров Е.В. Анализ сошников отечественных сеялок для ресурсосберегающей технологии / Известия Оренбургского ГАУ. 2018. № 4(72). С. 175- 178.

92. Прокопьев С. Н. Повышение эффективности посева зерновых совершенствованием сошниковой системы сеялки [Текст]: автореф. дис канд. техн. наук: 05.20.01. – Улан-Удэ, 2004. – 18 с.

93. Раднаев Д.Н., Дамбаева Б.Е. Повышение эффективности работы комбинированных машин и комплексов. Вестник ВСГУТУ. 2021. № 1 (80). С. 55-60.

94. Раднаев Д.Н., Дамбаева Б.Е., Петров В.А., Неустроева А.И., Шадрин М.М. Теоретические предпосылки обоснования параметров прикатывающего катка у дискового сошника. В сборнике: Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК. Материалы X Национальной научно-практической конференции с международным участием, посвящённой 90-летию со дня рождения заслуженного деятеля науки и техники РФ, доктора технических наук, профессора Терских Ивана Петровича. редколлегия: Н.Н. Дмитриев [и др.]. молодёжный, 2022. с. 73-79.

95. Раднаев Д.Н., Дамбаева Б.Е., Шадрин М.М. Применение метода планирования эксперимента при оптимизации параметров посевного рабочего органа. В сборнике: Приоритетные направления научно-технологического развития аграрного сектора России. Международной научно-практической конференции, посвященной Дню Российской науки. Улан-Удэ, 2023. С. 401-407.

96. Раднаев Д.Н., Дарханов А.И., Шалбаева Р.Г., Дамбаева Б.Е. К методике агротехнической оценки посева зерновых культур. Вестник ВСГУТУ. 2023. №1 (88). С. 60-65.

97. Раднаев Д.Н., Дринча В.М. Совершенствование разбросного посева семян зерновых культур дисковым сошником /Тракторы и сельхозмашины. – 2012. - №3. – С.33–35.

98. Раднаев Д.Н., Зимина О.Г., Бадмацыренов Д-Ц.Б. Анализ и выбор

объекта исследования при решении научно-технических проблем / научно-технический журнал Вестник ВСГУТУ № 3, Улан-Удэ: изд-во ВСГУТУ, 2019. – С. 49-55.

99. Раднаев Д.Н., Зими́на О.Г., Бадмацыренов Д.-Ц.Б. Значение априорной информации при планировании эксперимента // журнал «Тенденции развития науки и образования», №53 часть 3. От 08.2019; - С. 67-71.

100. Раднаев Д.Н., Зими́на О.Г., Бадмацыренов Д.-Ц.Б. Изучение объекта исследования при планировании эксперимента / Инженерное обеспечение и технический сервис в АПК: материалы международной научно-практической конференции, посвященная 80-летию доктора технических наук, профессора Сергеева Ю.А. — Улан-Удэ: Издательство БГСХА им. В. Р. Филиппова, 2019. - С. 71 – 72.

101. Раднаев Д.Н., Зими́на О.Г., Бадмацыренов Д.-Ц.Б. К обоснованию показателей эффективности посевных машин и комплексов / научно-технический журнал Вестник ВСГУТУ № 2, Улан-Удэ: изд-во ВСГУТУ, 2020. – С. 25-30.

102. Раднаев Д.Н., Калашников С.С., Бадмацыренов Д.-Ц.Б., Дамбаева Б.Е. Обоснование рациональных параметров прикатывающего катка комбинированного сошника при посеве зерновых культур. Дальневосточный аграрный вестник. 2022. № 2 (62). С. 158-167.

103. Раднаев Д.Н., Петунов С.В., Бадмацыренов Д.-Ц.Б. Агрономическое обоснование способа посева и рабочих органов зерновой сеялки / Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2021. № 2. С. 67-70.

104. Рахматуллин А.В. Лабораторные исследования процесса взаимодействия моделей уплотнительного диска сошника с почвой. // Совершенствование конструкций сельскохозяйственной техники / Труды. Т. 108. – Горький: 1977. – С. 39...42.

105. Руденко Н.Е., Кулаев Е.В., Руденко В.Н., Многофункциональный сошник пропашной сеялки /Тракторы и сельхозмашины. 2018; № 4. С. 26-31.

106. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов

эксперимента: Справочное руководство / Л.З. Румшинский. - М.: «Наука», 1979. -232 с.

107. Сарсенов А.Е. Повышение эффективности зерновой сеялки путем совершенствования конструкции сошника для улучшения распределения семян в почве. Автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. – Саратов. 2017. – 20 с.

108. Сарсенов А.Е. Повышение эффективности зерновой сеялки путем совершенствования конструкции сошника для улучшения распределения семян в почве: дис....канд. техн. наук. – Саратов. 2017. -210 с.

109. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины // Листопад Г.Е., Демидов Г.К., Зонов Б.Д. и др. / Под общ. ред. Листопада Г.Е. – М.: Агропромиздат, 1986. – 688 с.

110. Синеоков Г.Н. Теории и расчёт почвообрабатывающих машин [Текст] / Г. Н. Синеоков, И. М. Панов, – М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.

111. Система земледелия Республики Бурятия: научно-практические рекомендации / под науч. ред. профессора А.П. Батудаева. - 2-е изд., перераб. и доп.: - Улан-Удэ: Изд-во БГСХА имени В.Р. Филиппова, 2018. - 349 с/

112. Скидело В.В., Громаков А.В. Сравнительная оценка сеялок прямого посева с различными типами сошников// Сельский механизатор. 2019. №1. С. 10-11.

113. Скользаева М.А. Прикатывание как агротехнический приём повышения урожайности яровых культур в Ростовской области [Текст]: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.20.01. – Ростов-на-Дону, 172 1957. – 18 с.

114. Стандарт отрасли. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины посевные. Методы оценки функциональных показателей [Текст]: ОСТ 10.5.1-2000. - Введ. 2000-06-15. - М.: Изд-во стандартов, 2000. - 72 с.

115. Сулейменов М.К. Значение глубины заделки семян при посеве сеялкой- культиватором [Текст] / М. К. Сулейменов, К. А. Адилов, В. П. Белозеров // Труды ВИСХОМ. – М.: 1973. – В. 5. Исследование технологических процессов и рабочих органов посевных машин. – С. 48-52.

116. Тихомиров В.Б. Математические методы планирования

экспериментов при изучении нетканых материалов. – М: Лёгкая индустрия, 1968. – 156 с.

117. Третьяков Н.Н. Плотность почвы и корневая система растений [Текст] / Н. Н. Третьяков, В. И. Галицкий // Земледелие. – 1963. – № 4. – С. 56-63.

118. Фигурнов В.Э. Статистический анализ данных на компьютере / В.Э. Фигурнов, Ю.Н. Тюрин, А.А. Макаров. - М.: ИНФРА - М, 1998.- 528 с.

119. Фогель В.Т. Теоретические основы припосевного прикатывания почвы [Текст] / В. Т. Фогель // Труды ВИСХОМ. – М.: 1973. – В. 75. Исследование технологических процессов и рабочих органов посевных машин. – С. 53-57.

120. Халанский В.М., Сельскохозяйственные машины [Текст] / В. М. Халанский, И. В. Горбачёв. – М.: КолосС, 2004. – 624 с.

121. Шевелев В.М. Исследование процесса прикатывания почвы припосеве сельскохозяйственных культур: дис....канд. техн. наук. –Киев. 1968. - 179 с.

122. Штыльфус Г.Я. Повышение равномерности глубины заделки в почву семян и удобрений сошниками зернотуковых сеялок. Автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. – Горки: 1985. – 23 с.

123. Яковлев Н.С., Иванов Н.М., Назаров Н.Н., Маркин В.В. Рабочие органы посевных машин для возделывания зерновых культур // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – № 10. – С.76-80.

124. Agricultural machinery journal, 2013. – № 4.

125. Canadian Agricultural Engineering, 2001. – № 1.

126. D.N.Radnaev, A.S.Pehutov, A.A.Abiduev, S.V.Petunov and D-C.B. Badmatsyrenov. The coulter effect on the spring wheat yield at different row spacing and seeding rate. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 949 (2022)012069.

127. Deutsche Patent № DE 3429817 A1. – A 01 C 7/06. – Maschinezum Ausbringen von Saatgut und Dungemitteln. – H. Dreyer. – 2006.

128. Dowell F. E. No-till drill design for atrazine treated soils / F. E. Dowell, 174 J. B. Solie, T. F. Peeper // Trans. ASAE. St. Joseph, Mich. – 1996. Vol. 29, – № 6. P15541560. – Bibliogr.: P. 1560 (15 ref).
129. Huang B.K., Tayaputh V. Design and analysis of a fluid spot and furrow opener. – Trans. A.S.A.E., St. Joseph, Mich, 1973. Vol. 16, № 3, - p. 414...419.
130. Jedes Korn in die Erde // Agrarpraxis. – 1987. – № 7. – P. 32-34.
131. Kinze 3000 Series Planters, 2005. – P. 50.
132. Lucas Norman C. Direct-drill in action. – «Power Farming», 2002, 49, № 3. – P. 24...25.
133. Pelletier L. Semoirs pneumatiques in progression / L. Pelletier // France agricole, 1997. – № 4 – P. 55.
134. United States Patent № 4926767. – A 01 C 5/08. – No-till drill providing seed and fertilizer separation. – J. W. Thomas. – 1990.
135. United States Patent № 4926767. – A 01 C 5/08. – No-till drill providing seed and fertilizer separation. – J. W. Thomas. – 1990.

Показатели определения корреляционного отношения

1. Распределение глубины заделки семян при скорости сошника $v=1,5$ м/с

Данные для вычисления общей дисперсии

Классы (глубина, см)	Среднее значение класса, \bar{a}_i	повторности				η	$\bar{a} - a_i$	$(\bar{a} - a_i)^2$	$\eta(\bar{a} - a_i)^2$
		1	2	3	4				
5.1...6.0	5,5	43	33	20	30	126	1,49	2,22	128,22
6.1...7.0	6,5	27	40	23	21	111	0,49	0,24	26,64
7.1...8.0	7,5	23	25	41	34	123	-0,51	0,26	31,98
8.1...9.0	8,5	27	22	36	35	120	-1,51	2,28	273,6
	Σ	120	120	120	120	480			460,44

$$5,5 \cdot 126 = 693$$

$$6,5 \cdot 111 = 721,5$$

$$7,5 \cdot 123 = 922,5$$

$$8,5 \cdot 120 = 1020$$

$$\Sigma = 3357$$

$$\bar{a} = \frac{3357}{480} = 6,99 \text{ см}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{460,44}{480}} = \sqrt{0,95} = 0,98 \text{ см} - \text{общая дисперсия}$$

1.1. Данные для вычисления групповой дисперсии

Классы (глубина, см)	Частные средние значение класса, \bar{a}_i	повторности				η	$\bar{a} - a_i$	$(\bar{a} - a_i)^2$	$\eta(\bar{a} - a_i)^2$
		1	2	3	4				
5.1...6.0	5,5	11	22	15	21	69	1,46	2,13	146,97
6.1...7.0	6,5	53	48	34	61	196	0,46	0,21	41,16
7.1...8.0	7,5	46	34	52	8	140	-0,54	0,29	40,6
8.1...9.0	8,5	10	16	19	30	75	-1,54	2,37	177,75
	Σ	120	120	120	120	480			406,48

$$\text{Групповая дисперсия } \sigma = \sqrt{\frac{406,48}{480}} = \sqrt{2,26} = 1,50 \text{ см}$$

$$\text{Корреляционное отношение } -\eta = \frac{1,50}{0,98} = 1,53 \approx 1,5.$$

2. Глубина заделки семян при скорости сошника $v=2,0$ м/с

Данные для вычисления общей дисперсии

Классы (глубина, см)	Среднее значение класса, \bar{a}_i	повторности				η	$\bar{a} - a_i$	$(\bar{a} - a_i)^2$	$\eta(\bar{a} - a_i)^2$
		1	2	3	4				
5.1...6.0	5,5	40	31	19	35	125	1,37	1,88	235
6.1...7.0	6,5	27	48	43	26	144	0,37	0,14	20,16
7.1...8.0	7,5	33	25	38	25	121	-0,63	0,39	47,19
8.1...9.0	8,5	20	16	20	34	90	-1,63	2,66	239,4
	Σ	120	120	120	120	480			541,75

$$5,5 \cdot 125 = 687,5$$

$$6,5 \cdot 144 = 936$$

$$7,5 \cdot 121 = 907,5$$

$$8,5 \cdot 90 = 765$$

$$\Sigma = 3296$$

$$\bar{a} = \frac{3296}{480} = 6,87 \text{ см}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{541,75}{480}} = \sqrt{1,13} = 1,06 \text{ см} - \text{общая дисперсия}$$

2.1. Данные для вычисления групповой дисперсии

Классы (глубина, см)	Частные средние значение класса, \bar{a}_i	повторности				η	$\bar{a} - a_i$	$(\bar{a} - a_i)^2$	$\eta(\bar{a} - a_i)^2$
		1	2	3	4				
5.1...6.0	5,5	13	14	20	9	56	1,66	2,76	154,56
6.1...7.0	6,5	43	38	30	31	142	0,66	0,43	61,06
7.1...8.0	7,5	41	44	50	58	193	-0,34	0,11	21,23
8.1...9.0	8,5	23	24	20	22	89	-1,34	1,79	159,31
	Σ	120	120	120	120	480			396,16

$$\text{Групповая дисперсия } \sigma = \sqrt{\frac{396,16}{480}} = \sqrt{0,83} = 0,90 \text{ см}$$

$$\text{Корреляционное отношение } - \eta = \frac{0,90}{1,06} = 0,85.$$

3. Глубина заделки семян при скорости сошника $v=2,5$ м/с

Данные для вычисления общей дисперсии

Классы (глубина, см)	Среднее значение класса, \bar{a}_i	повторности				η	$\bar{a} - a_i$	$(\bar{a} - a_i)^2$	$\eta(\bar{a} - a_i)^2$
		1	2	3	4				
5.1...6.0	5,5	11	18	37	17	83	1,35	1,82	151,06
6.1...7.0	6,5	33	62	45	49	189	0,35	0,12	22,68
7.1...8.0	7,5	66	31	18	47	162	-0,65	0,42	68,04
8.1...9.0	8,5	10	9	20	7	46	-1,65	2,72	125,12
	Σ	120	120	120	120	480			366,9

$$5,5 \cdot 83 = 456,5$$

$$6,5 \cdot 189 = 1228,5$$

$$7,5 \cdot 162 = 1215$$

$$8,5 \cdot 46 = 391$$

$$\Sigma = 3291$$

$$\bar{a} = \frac{3291}{480} = 6,85 \text{ см}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{366,9}{480}} = \sqrt{0,76} = 0,87 \text{ см} - \text{общая дисперсия}$$

3.1. Данные для вычисления групповой дисперсии

Классы (глубина, см)	Частные средние значение класса, \bar{a}_i	повторности				η	$\bar{a} - a_i$	$(\bar{a} - a_i)^2$	$\eta(\bar{a} - a_i)^2$
		1	2	3	4				
5.1...6.0	5,5	33	25	32	47	137	1,25	1,56	213,72
6.1...7.0	6,5	36	41	49	36	162	0,25	0,06	9,72
7.1...8.0	7,5	36	34	20	15	105	-0,75	0,56	58,8
8.1...9.0	8,5	15	20	19	22	76	-1,75	3,06	232,56
	Σ	120	120	120	120	480			514,8

$$\text{Групповая дисперсия } \sigma = \sqrt{\frac{514,8}{480}} = \sqrt{1,07} = 1,03 \text{ см}$$

$$\text{Корреляционное отношение } - \eta = \frac{1,03}{0,87} = 1,18 \approx 1,2.$$

4. Глубина заделки семян при скорости сошника $v=3,0$ м/с

Данные для вычисления общей дисперсии

Классы (глубина, см)	Среднее значение класса, \bar{a}_i	повторности				η	$\bar{a} - a_i$	$(\bar{a} - a_i)^2$	$\eta(\bar{a} - a_i)^2$
		1	2	3	4				
5.1...6.0	5,5	23	34	40	54	151	1,26	1,59	240,09
6.1...7.0	6,5	41	37	30	36	144	0,26	0,07	10,08
7.1...8.0	7,5	28	29	23	7	87	-0,74	0,55	47,85
8.1...9.0	8,5	28	20	27	22	97	-1,74	3,03	293,91
	Σ	120	120	120	120	480			591,93

$$5,5 \cdot 151 = 830,5$$

$$6,5 \cdot 144 = 936$$

$$7,5 \cdot 87 = 652,5$$

$$8,5 \cdot 97 = 824,5$$

$$\Sigma = 3243,5$$

$$\bar{a} = \frac{3243,5}{480} = 6,76 \text{ см}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{591,93}{480}} = \sqrt{1,23} = 1,11 \text{ см} - \text{общая дисперсия}$$

4.1. Данные для вычисления групповой дисперсии

Классы (глубина, см)	Частные средние значение класса, \bar{a}_i	повторности				η	$\bar{a} - a_i$	$(\bar{a} - a_i)^2$	$\eta(\bar{a} - a_i)^2$
		1	2	3	4				
5.1...6.0	5,5	21	17	14	19	71	1,37	1,88	133,48
6.1...7.0	6,5	65	60	55	59	239	0,37	0,14	33,46
7.1...8.0	7,5	20	36	18	15	89	-0,63	0,39	34,71
8.1...9.0	8,5	14	7	33	27	81	-1,63	2,66	215,46
	Σ	120	120	120	120	480			417,11

$$\text{Групповая дисперсия } \sigma = \sqrt{\frac{417,11}{480}} = \sqrt{0,87} = 0,93 \text{ см}$$

$$\text{Корреляционное отношение } - \eta = \frac{0,93}{1,11} = 0,84 \approx 0,8.$$

Предварительное изучение объекта исследования

Система также может задаваться системными объектами, их свойствами и связями. Системный объект характеризуется входом, процессом, выходом, обратной связью и ограничением. В качестве входных переменных X_1, X_2, \dots, X_n принимаются все внешние (почвенно-климатические условия, агротехнические требования) и управляющие факторы Z_1, Z_2, \dots, Z_n (система управления и квалификация оператора, параметры рабочих органов сельскохозяйственной машины и двигателя трактора), а выходные факторы Y_1, Y_2, \dots, Y_n - совокупность параметров, которые определяют эксплуатационные, экономические показатели и другие (рис. II.1). Во многих случаях, компонентами входа является рабочий вход, что «обрабатывается», и процесс, что «обрабатывает». Выходом является результат или конечное состояние процесса. Процесс преобразует вход в выход. Выделить систему - значит указать все процессы, дающие данный выход. Коль это так, понятие процесс оказывается центральным понятием системного анализа [14, 21, 56].

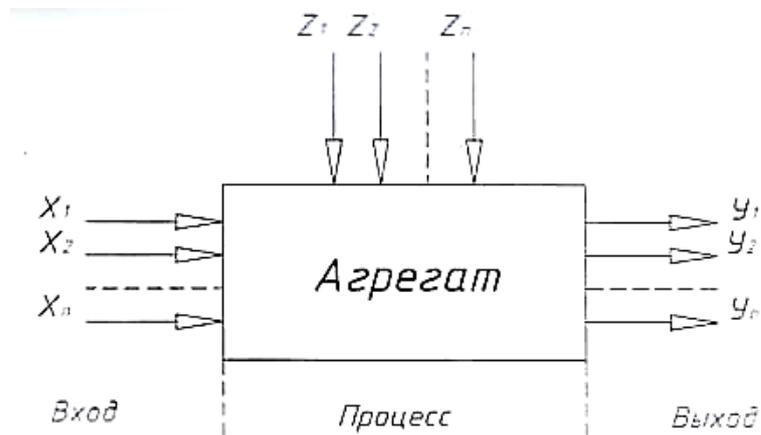


Рисунок II.1. - Блок-схема функционирования агрегата в видесистемного процесса

Граница системы определяется совокупностью входов от окружающей среды. Окружающая среда - это совокупность естественных и искусственных систем, для которых данная система не является функциональной подсистемой. Модель выхода представляет ожидаемый исход. Она может принимать количественную или качественную форму. Количественная форма модели

выхода может выражать ожидаемый исход в виде предлагаемой величины (прибыли, потери, приведенных затрат, удельных технических показателей и т.д.).

Таким образом, для реализации одной и той же функции могут быть созданы системы с различной структурой, обладающие разными технико-экономическими характеристиками. Так, обработку почвы и посев можно производить с помощью различных по структуре технологических процессов, а заданную функцию их выполнять различными по конструкции агрегатами. Это обстоятельство приводит к многовариантности задач синтеза сложных технологических процессов и объектов на основе заданной функции, которые решаются за счет организации итерационных операций, то есть последовательного улучшения исходного варианта до требуемой степени совершенства.

В широком смысле функцию определяют, как способность системы к целесообразной деятельности в рамках более сложной системы, в состав которой она входит. Целесообразная деятельность характеризуется совокупностью таких реакций системы на изменения, происходящие во внешней среде и внутри системы, которые делают функционирование направленным на достижение поставленной цели. В сложных системах, например, в современных посевных комплексах с автоматическим управлением, эти изменения фиксируются специальными датчиками, передающими информацию о состоянии внешней и внутренней среды в управляющие устройства системы. Последние вырабатывают целесообразные реакции на возникающие в среде изменения, т.е. определяют режимы обработки почвы и посева, которые обеспечивают наибольшую производительность или наименьшую себестоимость при соблюдении агротехнических требований. Функция каждой детали направлена на выполнение общей функции узла, в который она входит. Таким образом, функция сложной системы или отдельного ее элемента – это такое их отложение с другими элементами, которое определяет взаимосвязь части и целого, делает функционирование элемента направленным и целесообразным.

Априорное ранжирование факторов

Современные тенденции синтеза теоретических наук и экспериментальных методов указывают на безусловно целесообразное объединение методов теории подобия и моделирования, являющихся уже много лет испытанным средством инженерного исследования, с относительно недавно зародившейся методологией планирования экспериментов и проведения их как экстремальных, отвечающих принципу максимума правдоподобия. Несомненно, что такой синтез будет плодотворен и приведет к большому расширению возможностей как теории планирования экспериментов, так и развивающихся методов теории подобия и моделирования.

Различают эксперименты лабораторные, поставленные в специальных условиях, к ним относятся модельные эксперименты, реализованные на специально созданных моделях. Эксперимент может быть производственным, поставленным в условиях, при которых не нарушается течение производственного процесса, но в то же время ведутся наблюдения за ходом его. Эксперимент может быть натурным, заключающимся в наблюдении его факторов и выявлении тех условий, которые создаются вследствие тех или иных причин в природе. Он может быть также расчетным на ЭВМ.

Исследования по обоснованию оптимальных параметров катка проводились с применением теории планирования эксперимента [2, 67, 72, 77, 86, 87, 102].

Планирование экспериментов приобретает все большее и большее значение при постановке исследований сложных систем и различных многофакторных объектов. Повышение эффективности эксперимента особенно актуально в связи с тем, что многие экспериментальные научные исследования. Первым пунктом такого подхода к постановке эксперимента и его обработке является планирование эксперимента, вторым этапом – критериальное планирование и обработка.

Планирование экспериментов должно предусматривать применение в

практике исследователя способов, позволяющих увеличивать эффективность от наблюдений, проводимых при относительно «бедной» статистике, получать наглядную интерпретацию результатов и наилучшим образом оценивать случайные и систематические ошибки [26, 27, 78, 79, 84].

Априорное ранжирование факторов применялся в работе профессора С.В. Мельникова и других при решении ряда многофакторных задач [67].

При изучении работ ученых [6, 44, 93, 107], которые занимались вопросами прикатывания почвы после посева, было выявлена информация, в которой указаны место параметров, влияющих на плотность почвы после посева. Результаты априорного ранжирования факторов специалистами приведены в приложении 6.

По результатам априорного ранжирования факторов была составлена матрица рангов-алгоритмов (таблица 2 приложения 6) для вычисления коэффициента конкордации, определяющего степень согласованности специалистов, по формуле:

$$W = \frac{12S}{m^2(k^3 - k)}, \quad (\text{III.1})$$

где S – сумма квадратов отклонений; m – количество опрашиваемых специалистов; k – количество факторов.

Сумма квадратов отклонений вычисляется по формуле:

$$S = \sum_{i=1}^k (\sum_{j=1}^m a_{ij} - L)^2, \quad (\text{III.2})$$

где a_{ij} – ранг (порядковый номер при опросе) i -го фактора у j -го специалиста;

L – среднее значение сумм рангов по каждому фактору.

Среднее значение сумм рангов по каждому фактору вычисляется по формуле:

$$L = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m a_{ij}}{k}, \quad (\text{III.3})$$

Значимость коэффициента конкордации проверяем по критерию Пирсона χ^2 . Учитывая, что в матрице (приложение 6) нет “связанных” рангов, χ^2 – распределения вычисляем по формуле:

$$\chi^2 = m(k - 1)W = \frac{S}{\frac{1}{12mk(k+1)}}, \quad (\text{III.4})$$

Коэффициент конкордации (W) имеет χ^2 – распределение с числом средней свободы $f=k-1$, а значение $\chi^2_{табл.}$ – критерия определяем по таблице, представленной в приложении 4 [102].

При соблюдении условия $\chi^2_{расч} > \chi^2_{табл.}$ и если коэффициент конкордации значимо отличается от нуля и стремится к 1, то тем больше согласованность мнений у специалистов (табл. III.1).

Таблица III.1. - Мнение специалистов об уровне варьирования факторов и их значимости влияния на параметр оптимизации

Условное обозначение	факторы	Уровень варьирования факторов			значимость влияния факторов на параметр оптимизации			
		-	0	+	1	2	3	4
x_1	Жесткость пружины, действующей на каток Р, Н/м;	9	12	15	1	1	1	2
x_2	Длина тяги рыхлителя $l_{тр}$, м	0,15	0,20	0,25	3	2	2	3
x_3	Скорость сошника, v, м/с	1,5	2,0	2,5	4	4	4	3
x_4	Плотность почвы, δ_0 , г/см ³	0,96	1,06	1,16	6	4	3	7
x_5	Твердость почвы, МПа	0,4	0,6	0,8	7	6	6	6
x_6	Влажность почвы, %	11	16	21	6	8	6	5
x_7	Расстояние между центрами осей сошника и катка l , м	0,32	0,35	0,38	1	1	1	2

После этого строим диаграмму рангов факторов, отражающую коллективное мнение специалистов. С помощью полученной диаграммы производим оценку значимости факторов. В случае неравномерного убывания диаграммы для дальнейшего рассмотрения отбираем небольшую часть «главных факторов», а остальные исключаем (табл. III.2).

Таблица III.2. - Матрица рангов

m	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
1	1	4	2	3	5	6	7
2	3	2	1	4	6	5	7
3	2	1	4	3	6	7	5
4	2	4	3	1	6	5	7
Σ	8	10	10	11	23	23	26
Δi	8	6	6	5	-7	-7	-10
Δi^2	16	36	36	25	49	49	100

Определяем коэффициент конкордации:

$$W = \frac{12S}{m^2(k^3 - k)} = \frac{12 \cdot 359}{4^2(7^3 - 7)} = 0,8$$

Значимость коэффициента конкордации проверяем по критерию χ^2 – Пирсона

$$\chi^2 = m(k - 1)W = \frac{S}{\frac{1}{12mk(k-1)}} = \frac{359}{\frac{1}{12} \cdot 4 \cdot 7(7-1)} = \frac{359}{18,6} = 19,3$$

при $f = k - 1 = 6$ – число средней свободы из приложения 4 [102] находим

$$\chi^2 = 12,79.$$

В нашем случае

$$\chi^2_{\text{расч.}} > \chi^2_{\text{табл.}}$$

Значит, гипотеза о наличии согласия специалистов может быть принята.

Крутое восхождение по поверхности отклика

Задача планирования опытов возникает при выборе точек измерений в той области, где такие точки размещены. Область изменения факторов должна быть довольно малой, чтобы различия между поверхностью и касательной плоскостью были незначительными. Однако увеличение области уменьшает относительное влияние отклонений Y от $f(x_1, x_2)$. Компромиссное решение, однако, можно выбрать, только учитывая свойства функции, а они, как правило, не известны. Чаще всего на основании интуиции и опыта исследователь выбирает интервал изменений каждого фактора на плоскости $x_1 - x_2$, что соответствует прямоугольнику. Наилучшая стратегия, которая позволила бы достичь вершины при наименьшем числе шагов, зависит от конкретного выбора сглаживающей функции. Поэтому выбор числа экспериментов в окрестности точки отчасти связан с удобством обработки результатов. С точки зрения точности определения коэффициентов наиболее целесообразно размещать наблюдения в вершинах выбранного плоскости $x_1 - x_2$ прямоугольника. Иначе говоря, каждый фактор может принимать два значения; когда факторов много, общее число комбинаций возрастает, поэтому опыты ставят только в некоторых вершинах. Пока подъем достаточно крут и коэффициенты уравнения заметно отличаются от нуля, погрешность обычно невелика. Но по мере приближения к вершине частная производная уменьшается и в определении величин коэффициентов появляется неточность. Во избежание этого рекомендуется перейти к аппроксимации функции многочленом второй степени (регрессионным уравнением).

После априорного ранжирования факторов и выделения существенных факторов встает задача получения представления о функции отклика. Математические методы планирования эксперимента позволяют приотыскании области оптимума двигаться по поверхности отклика кратчайшим путем при использовании метода крутого восхождения. [3, 19, 23, 102].

Перед началом эксперимента проводилось кодирование по формуле:

$$x_i = \frac{x_i - x_{oi}}{\varepsilon}, \quad (\text{IV.1})$$

где x_i – кодированное значение фактора (безразмерная величина); x_{oi} – натуральное значение некоторого фактора на нулевом уровне; ε – натуральное значение интервала варьирования (Δc).

Верхний уровень варьирования фактора обычно обозначается через +1, а нижний через –1. В центре эксперимента факторы имеют нулевой уровень 0.

$$\varepsilon = \frac{x_i^b - x_i^H}{2}, \quad (\text{IV.2})$$

где x_i^b – значение фактора на верхнем уровне; x_i^H – значение фактора на нижнем уровне.

Уровни и интервалы варьирования факторов, используемых в эксперименте, определялись согласно агротехническим требованиям посева [102].

Предполагая, что результаты эксперимента можно представить линейной моделью, а часть эффектов относится к шумовому полю, получают расщепление модели в следующем виде:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_{k-1}x_{k-1} + a, \quad (\text{IV.3})$$

где y – параметр (критерий) оптимизации;

$b_0, b_1, b_2, \dots, b_{k-1}$ – коэффициенты регрессии;

x_1, x_2, \dots, x_{k-1} – независимые переменные (факторы), которые можно варьировать при постановке эксперимента $a = b'_1z_1 + b'_2z_2 + \dots + b'_lz_l + u$;

k – общее число эффектов, равное числу факторов; l – число эффектов, отнесенных к шумовому полю; $k - 1$ – число значимых эффектов; u – ошибка опыта.

Далее осуществляется расчет коэффициентов регрессии по формуле:

$$b_i = \frac{\sum_{n=1}^N x_{in}y_n}{\sum_{n=1}^N x_{in}^2}, \quad (\text{IV.4})$$

где x_{in} – значение фактора x_i в n -м опыте; y_n – значение параметра оптимизации в том же опыте; N – число опытов.

Определение сводного члена b_0 в уравнении регрессии производится

следующим образом:

$$b_0 = \frac{\sum_{n=1}^N y_n}{N}. \quad (\text{IV.5})$$

Коэффициенты регрессии, характеризующие взаимодействие факторов, определяются по формуле:

$$b_{ij} = \frac{\sum_{n=1}^N x_{in} x_{jn} y_n}{N}. \quad (\text{IV.6})$$

После вычисления коэффициентов регрессии проводят статистический анализ уравнения регрессии.

Гипотезу об адекватности представления результатов исследования полиномом первой степени проверяют с помощью критерия Фишера (F - критерий):

$$F = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_y^2}, \quad (\text{IV.7})$$

где $S_{\text{ад}}^2$ - дисперсия адекватности математической модели;

S_y^2 - дисперсия воспроизводимости, характеризующая ошибку опыта.

Линейная модель оказалась неадекватной по одной из вышеперечисленных критериев, поэтому поставлен вопрос об аппроксимации рассматриваемой поверхности отклика полиномом второй степени. Поэтому проводилось центральное композиционное ротатабельное планирование второго порядка.

Ротатабельное планирование второго порядка

При исследовании области оптимума из-за большой кривизны поверхности отклика линейную модель применять уже нельзя. Чаще всего для описания области оптимума используют полиномы второй степени [3, 19, 23, 102].

Проведенный эксперимент с объективной оценкой сведения об изучаемом процессе и распространить полученный материал на серии других исследований можно только в том случае, если их обработка выполнена с учетом адекватности теоретических исследований. Без этого единичный эксперимент или ряд такие экспериментов будет иметь очень малую ценность, низкий коэффициент полезного действия; время и средства, потраченные на их проведение, не смогут быть оправданы. Планирование экспериментов предусматривает включение в практику исследований способов, позволяющих увеличивать эффективность от наблюдений, проводимых при относительно «бедной» статистике, получать наглядную интерпретацию результатов и наилучшим образом оценивать случайные и систематические ошибки.

При описании почти стационарной области чаще всего используют центральное композиционное ротатабельное униформ-планирование второго порядка, которое является наиболее эффективным [102].

Перед началом эксперимента проводилось кодирование по формуле:

$$x_i = \frac{x_i - x_{oi}}{\varepsilon},$$

где x_i – кодированное значение фактора (безразмерная величина)

x_i – натуральное значение фактора;

x_{oi} – натуральное значение некоторого фактора на нулевом уровне.

ε – натуральное значение интервала варьирования.

Верхний уровень варьирования фактора обычно обозначается через +1, а нижний через –1. В центре эксперимента факторы имеют нулевой уровень 0.

$$\varepsilon = \frac{x_i^B - x_i^H}{2},$$

где x_i^B - значение фактора на верхнем уровне;

x_i^H - значение фактора на нижнем уровне.

Уровни и интервалы варьирования факторов, используемых в эксперименте, определялись согласно агротехническим требованиям посева [1, 94, 25].

Данная методика проведения эксперимента известна и изложена в работах С.В. Мельникова, В.Б. Тихомирова [67, 102].

В рассматриваемом примере для получения зависимости от параметра оптимизации использован ортогональный план второго порядка (планирование первого порядка дает неадекватный полином). Матрица планирования типа ортогонального центрального композиционного планирования, приведенная в таблице 2.23, представлена полиномом вида (2.22)

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ij} x_i^2 \quad (V.1)$$

Для заданного диапазона изменения параметров оптимизации применение планирования даже второго порядка дает полином, обладающий невысокой точностью. Это можно проследить по результатам крайнего правого столбца, в котором приведены значения коэффициентов, вычисленные по полиному. Расхождения в некоторых точках, особенно для опытов 7 и 8, столь велики, что не удовлетворяют заданной точности.

Неодинаковая точность предсказания в разных направлениях факторного пространства, т. е. при различных сочетаниях коэффициентов уравнения, – один из существенных недостатков ортогонального планирования второго порядка. Использовать такой полином для дальнейшего анализа и синтеза конструкции экспериментального сошника нельзя, так как поиск оптимальных геометрических параметров машины происходит для различных сочетаний коэффициентов уравнения, а погрешность полинома может дать ложный экстремум.

Здесь под экспериментом подразумевается расчет на ЭВМ системы

дифференциальных уравнений при фиксированных в соответствии с матрицей планирования значениях параметров.

Определим коэффициенты полинома по соответствующим расчетным формулам. Проверку адекватности модели по критерию Фишера в вершинах факторного пространства провести нельзя. Адекватность полинома при решении аппроксимационных задач проверяется для других точек факторного пространства. Поэтому проверку адекватности модели следует проводить в этих точках, используется критерий Кохрена.

Если величина критерия Фишера удовлетворяет предъявляемой к аппроксимации точности, то полином адекватен; если не удовлетворяет – необходимо переходить к планам высоких порядков или уменьшать интервал варьируемых факторов. Так как число контрольных опытов при проведении планируемых расчетов ограничено не жестко, рекомендуется с помощью таблицы случайных чисел взять еще дополнительные точки внутри факторного пространства.

Расчет коэффициентов уравнения регрессии второго порядка

Расчет коэффициентов уравнения регрессии второго порядка

$$b = aN^{-1} \sum_{n=1}^N \bar{y}_n - bN^{-1} \sum_{i=1}^k \sum_{n=1}^N x_{in}^2 \bar{y}_n;$$

$$b_0 = 0,00917 \cdot 0,574 - 0,0625(1,190 + 1,181 + 1,189 + 1,188) = 1,3607 - 0,2967 = 1,0640$$

$$b_i = \lambda_2^{-1} N^{-1} \sum_{n=1}^N x_{in} \bar{y}_n;$$

$$b_1 = 0,05556(+0,640 - 0,550) = 0,05556 (+0,090) = 0,007$$

$$b_2 = 0,05556(+0,593 - 0,588) = 0,05556 (+0,005) = 0,005$$

$$b_3 = 0,05556(+0,586 - 0,603) = 0,05556 - 0,017 = -0,0007$$

$$b_i = \lambda_3^{-1} N^{-1} \sum_{n=1}^N x_{in} x_{jn} \bar{y}_n;$$

$$b_{12} = 0,0625 (+0,530 - 0,528) = 0,0625 (+0,002) = 0,0003$$

$$b_{13} = 0,0625 (+0,525 - 0,533) = 0,0625 (-0,008) = -0,007$$

$$b_{23} = 0,0625 (+0,529 - 0,529) = 0,009$$

$$b_{ii} = -bN^{-1} \sum_{n=1}^N \bar{y}_n + cN^{-1} \sum_{n=1}^N x_{in}^2 \bar{y}_n - dN^{-1} \sum_{i=1}^k \sum_{n=1}^N x_{in}^2 \bar{y}_n;$$

$$b_{11} = -0,0625 \cdot 1,574 + 0,5 \cdot 0,0190 - 0,10417 \cdot 4,748 = +0,004$$

$$b_{22} = -0,0625 \cdot 1,574 + 0,5 \cdot 1,181 - 0,10417 \cdot 4,748 = -0,0027$$

$$b_{33} = -0,0625 \cdot 1,574 + 0,5 \cdot 0,0189 - 0,10417 \cdot 4,748 = +0,0013$$

Статистический анализ уравнения регрессии

$$S_{\{y\}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{n=1}^N (y_{in} - \bar{y}_n)^2}{N(m-1)} = \frac{3 \cdot 0,000604}{48} = 0,00003777$$

$$f_y = N(m-1) = 16(3-1) = 32$$

$$S_{\{b_0\}}^2 = aN^{-1} S_y^2 = 0,22917 \cdot 0,00003777 = 0,0000090$$

$$S_{\{b_i\}}^2 = S_{\{b_i\}}^2 = \dots = S_{\{b_4\}}^2 = \lambda_2^{-1} N^{-1} S_y^2 = 0,05556 \cdot 0,0000377 = 0,0000020$$

$$S_{\{b_{ij}\}}^2 = S_{\{b_{12}\}}^2 = S_{\{b_{13}\}}^2 = S_{\{14\}}^2 = S_{\{b_{15}\}}^2 = S_{\{b_{23}\}}^2 = S_{\{b_{24}\}}^2 = S_{\{b_{34}\}}^2 = \lambda_3^{-1} N^{-1} S_y^2 = 0,0625 \cdot 0,0000377 = 0,0000020$$

$$S_{\{b_{ij}\}}^2 = S_{\{b_{11}\}}^2 = \dots = S_{\{b_{44}\}}^2 = (c \cdot d) N^{-1} S_y^2 = (0,5 - 0,10417) \cdot 0,0000377 = 0,000015$$

$$CoV_{\{b_0, b_{ij}\}} = -b N^{-1} S_y^2 = -0,0625 \cdot 0,0000377 = 0,000002$$

$$CoV_{\{b_{ii}, b_{jj}\}} = -d N^{-1} S_y^2 = -0,10417 \cdot 0,0000377 = -0,0000038$$

Проверка модели на адекватность. Определяем дисперсию ошибки опыта.

$$S_E = \sum_{n=1}^{N_0} (y_{0n} - \bar{y}_0)^2 = 0,000008 + 0,000026 + 0,000032 + 0,000026 + 0,000014 + 0,000056 + 0,000038 = 0,0002$$

$$f_E = n_0 - 1 = 7 - 1 = 6$$

Остаточная дисперсия будет равна

$$S_R = \sum_{n=1}^{N_0} (\bar{y}_n - \hat{y}_n)^2 = 0,000003 + 0,000007 + 0,000012 + 0,000014 + 0,0000 + 0,000038 + 0,000031 + 0,000002 + 0,000031 + 0,0000 + 0,000000 + 0,000029 + 0,000031 + 0,000005 + 0,000007 + 0,000005 + 0,000001 + 0,000001 + 0,000000 + 0,000002 + 0,000013 + 0,000003 + 0,000020 + 0,000020 = 0,000275$$

Определяем дисперсию адекватности

$$S_{ад} = S_R - S_E = 9,22 - 2,01 = 7,21$$

с числом степеней свободы

$$f_{ад} = N - \frac{(k+2)(k+1)}{2} - (n_0 - 1) = 31 - \frac{(4+2)(4+1)}{2} - (7-1) = 31 - \frac{6 \cdot 5}{2} = 10$$

$$F_{расч.} = 3,6$$

Из приложения [102] $F_{0,05} = 5,05$

$F_{\text{расч.}} < F_{\text{табл.}}$, значит модель адекватна.

Далее проверяем нуль-гипотезу

$$t_{\text{расч.}} = \frac{(b_0 - \bar{y}_0)\sqrt{N}}{\sqrt{S_{\{y\}}^2}},$$

где $t_{\text{расч.}}$ сравнивается с табличным значением t – критерия, с числом свободы f , при котором определена дисперсия $S_{\{y_0\}}^2$. Если табличное значение t - критерия больше расчетного, то разность $(b_0 - y_0)$ и достоверна и нуль-гипотезу можно принять.

$$t_{\text{расч.}} = \frac{(0,064 - 0,0628)\sqrt{24}}{\sqrt{0,000038}} = \frac{0,0014 \cdot 4,9}{0,006} = 1,14$$

при $f = 48$ из приложение 3 [102] $t_{\text{табл.}} = 2,01$

Далее проверяется значимость коэффициентов регрессии

$$\Delta b_0 = \pm t_{\text{расч.}} \cdot S_{\{b_0\}}^2 = \pm 2,01 \cdot 0,000009 = \pm 0,000018$$

$$\Delta b_i = \pm t_{\text{расч.}} \cdot S_{\{b_i\}}^2 = \pm 2,01 \cdot 0,000002 = \pm 0,0000040$$

$$\Delta b_{ij} = \pm t_{\text{расч.}} \cdot S_{\{b_{ij}\}}^2 = \pm 2,01 \cdot 0,000002 = \pm 0,0000040$$

$$\Delta b_{ii} = \pm t_{\text{расч.}} \cdot S_{\{b_{ii}\}}^2 = \pm 2,01 \cdot 0,000015 = \pm 0,00003$$

Коэффициенты b_0 , b_i , b_{ij} и b_{ii} можно считать значимыми с 95%-ной достоверностью.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11)**209 248**⁽¹³⁾ **U1**(51) МПК
A01C 7/00 (2006.01)
A01C 7/20 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**(52) СПК
A01C 7/00 (2021.08); A01C 7/20 (2021.08)

(21)(22) Заявка: 2021112614, 28.04.2021

(24) Дата начала отчета срока действия патента:
28.04.2021Дата регистрации:
09.02.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 28.04.2021

(45) Опубликовано: 09.02.2022 Бюл. № 4

Адрес для переписки:

670024, Респ. Бурятия, г. Улан-Удэ, ул.
Пушкина, 8, ФГБОУ ВО Бурятская
государственная сельскохозяйственная
академия им. В.Р. Филиппова

(72) Автор(ы):

Раднаев Даба Нимаевич (RU),
Пехутов Александр Сергеевич (RU),
Дамбаева Баирма Ефимовна (RU),
Калашников Сергей Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Бурятская государственная
сельскохозяйственная академия им. В.Р.
Филиппова" (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2604918 C2, 20.12.2016. RU
2435356 C1, 10.12.2011. RU 2635390 C1,
13.11.2017. CN 110100536 A, 09.08.2019.

(54) Усовершенствованный сошник

(57) Реферат:

Полезная модель относится к
сельскохозяйственному машиностроению и может
быть использована для посева зерновых культур.
Цель полезной модели - выравнивание и
взрыхление поверхности рядка за сошником дляболее равномерной заделки семян по глубине и
более дружного появления всходов. Это
достигается тем, что за сошником по следу
засеянного рядка устанавливается валиковый
загортач с рыхлителем-выравнивателем.

RU 209248 U1

RU 209248 U1

«УТВЕРЖДАЮ»
 Директор ООО «ВИСТА»
Г.Е. Григорьев Григорьев Г.Е.
 «5» мая 2022 г.



АКТ

внедрения научно-технической разработки

Настоящий акт составлен о том, что в 2022 году ООО «ВИСТА» Бичурского района Республики Бурятия совместно с кафедрой «Механизация сельскохозяйственных процессов» ФГБОУ ВО Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова проведено внедрение усовершенствованного сошника для посева зерновых культур, установленного на серийную сеялку СЗУ-3,6. Применение комбинированного сошника позволяет повысить урожайность на 12%. В 2022 году в ООО «ВИСТА» посеяны зерновые культуры на площади 239 га. Урожайность пшеницы при посеве усовершенствованным сошником составила 17,9 ц/га, а посев серийной сеялкой СЗУ-3,6 – 14,8 ц/га.

Представители хозяйства:

Г.Е. Григорьев Григорьев Г.Е.

Представители академии:

Д.Н. Раднаев Раднаев Д.Н.
Б.Е. Дамбаева Дамбаева Б.Е.

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ООО «ВИСТА»

Г. Григорьев
 Григорьев Г.Е.
 «05 мая» 2022 г.



АКТ

внедрения научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся представители Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова (ФГБОУ ВО Бурятская ГСХА) Раднаев Д.Н., Дамбаева Б.Е. с одной стороны и ООО «ВИСТА» Бичурского района Республики Бурятия, в лице директора Григорьева Григория Евсеевича с другой стороны составили настоящий акт о том, что в период с 5 мая 2022 г. по 23 сентября 2022 г. сотрудниками ФГБОУ ВО Бурятская ГСХА Раднаевым Д.Н., Дамбаевой Б.Е. внедрена на полях ООО «ВИСТА» научно-техническая разработка: усовершенствованный сошник.

1. В процессе внедрения выполнены следующие работы:

Проведен посев опытных участков яровой пшеницы сорта «Бурятская 79» на площади 239 га с нормой высева 190 кг/га всхожих семян. Для посева использовалась серийная сеялка СЗУ-3,6 оснащенная усовершенствованным сошником для посева зерновых культур. Определены качественные показатели высева сеялок: равномерность семян по площади поля и глубине заделки, динамика появления всходов и биологическая урожайность с опытных делянок.

2. Техничко-экономические и социальные показатели внедрения разработки по сравнению с базовым вариантом:

- по итогам производственной проверки сеялки СЗУ-3,6 оснащенной усовершенствованным сошником при посеве семян пшеницы, по сравнению с базовым вариантом получены следующие результаты:

- количество семян, заделанных на заданную глубину с допустимыми отклонениями ± 1 см составили 82,5% усовершенствованным сошником против 68,3% серийным сошником;

- количество растений, обеспеченных расчетной площадью питания составило 77,9 усовершенствованным сошником против 68,2% серийным сошником;

- урожайность зерновых при посеве экспериментальными сошниками составила – 17,9 ц/га, а на контрольных посевах 14,8 ц/га.

Предложения о дальнейшем внедрении работы и другие замечания:

По результатам производственных испытаний на полях ООО «ВИСТА» рекомендовано использовать усовершенствованный сошник, имеющий прикатывающий каток с рыхлителем.

Акт составлен в 3 экземплярах

Представители хозяйства:

 Григорьев Г.Е.

Представители академии:

 Раднаев Д.Н.
 Дамбаева Б.Е.

«УТВЕРЖДАЮ»
 Председатель СПК «Ульдурга»
 Будажанаев Б.Ц.
 _____ 2023 г.



АКТ

внедрения научно-технической разработки

Настоящий акт составлен о том, что в 2023 году СПК «Ульдурга» Еравнинского района Республики Бурятия совместно с кафедрой «Механизация сельскохозяйственных процессов» ФГБОУ ВО Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова проведено внедрение усовершенствованного сошника для посева зерновых культур, установленного на серийную сеялку СЗУ-3,6. Применение комбинированного сошника позволяет повысить урожайность на 12%. В 2023 году в СПК «Ульдурга» посеяны зерновые культуры на площади 257 га. Урожайность пшеницы при посеве усовершенствованным сошником составила 16,6 ц/га, а посев серийной сеялкой СЗУ-3,6 – 13,5 ц/га.

Представители хозяйства:

_____ Будажанаев Б.Ц.

Представители академии:

_____ Раднаев Д.Н.
_____ Дамбаева Б.Е.

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель СПК «Ульдурга»

Будажанаев Б.Ц.

2023 г.



АКТ

внедрения научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся представители Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова (ФГБОУ ВО Бурятская ГСХА) Раднаев Д.Н., Дамбаева Б.Е. с одной стороны и СПК «Ульдурга» Еравнинского района Республики Бурятия, в лице председателя Будажанаева Булата Цырендоржиевича с другой стороны составили настоящий акт о том, что в период с 5 мая 2023 г. по 19 сентября 2023 г. сотрудниками ФГБОУ ВО Бурятская ГСХА Раднаевым Д.Н., Дамбаевой Б.Е. внедрена на полях СПК «Ульдурга» научно-техническая разработка: усовершенствованный сошник.

1. В процессе внедрения выполнены следующие работы:

Проведен посев опытных участков яровой пшеницы сорта «Бурятская 79» на площади 257 га с нормой высева 200 кг/га всхожих семян. Для посева использовалась серийная сеялка СЗУ-3,6 оснащенная усовершенствованным сошником для посева зерновых культур. Определены качественные показатели высева сеялок: равномерность семян по площади поля и глубине заделки, динамика появления всходов и биологическая урожайность с опытных делянок.

2. Техничко-экономические и социальные показатели внедрения разработки по сравнению с базовым вариантом:

- по итогам производственной проверки сеялки СЗУ-3,6 оснащенной усовершенствованным сошником при посеве семян пшеницы, по сравнению с базовым вариантом получены следующие результаты:

- количество семян, заделанных на заданную глубину с допустимыми отклонениями ± 1 см составили 81,5% усовершенствованным сошником против 68,3% серийным сошником;

- количество растений, обеспеченных расчетной площадью питания составило 78,7 усовершенствованным сошником против 69,1% серийным сошником;

- урожайность зерновых при посеве экспериментальными сошниками составила – 16,6 ц/га, а на контрольных посевах 13,5 ц/га.

Предложения о дальнейшем внедрении работы и другие замечания:

По результатам производственных испытаний на полях ФГБУ «Опытная станция «Байкальская» рекомендовано использовать усовершенствованный сошник, имеющий прикатывающий каток с рыхлителем.

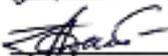
Акт составлен в 3 экземплярах

Представители хозяйства:

 Будажданаев Б.Ц.

Представители академии:

 Раднаев Д.Н.

 Дамбаева Б.Е.

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель СПК «Колхоз Искра»

Болонев С.А.2024 г.

АКТ

внедрения научно-технической разработки

Настоящий акт составлен о том, что в 2024 году СПК «Колхоз Искра» Мухоршибирского района Республики Бурятия совместно с кафедрой «Механизация сельскохозяйственных процессов» ФГБОУ ВО Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова проведено внедрение усовершенствованного сошника для посева зерновых культур, установленного на серийную сеялку СЗУ-3,6. Применение комбинированного сошника позволяет повысить урожайность на 14%. В 2024 году в СПК «Колхоз Искра» посеяны зерновые культуры на площади 273 га. Урожайность пшеницы при посеве усовершенствованным сошником составила 15,1 ц/га, а посев серийной сеялкой СЗУ-3,6 – 12,9 ц/га.

Представители хозяйства:

Болонев С.А.

Представители академии:

Раднаев Д.Н.Дамбаева Б.Е.

«УТВЕРЖДАЮ»

Председатель СПК «Колхоз Искра»

Болонев С.А.

2024 г.



АКТ

внедрения научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся представители Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова (ФГБОУ ВО Бурятская ГСХА) Раднаев Д.Н., Дамбаева Б.Е. с одной стороны и СПК «Колхоз Искра» Мухоршибирского района Республики Бурятия, в лице председателя Болонева Сергея Алексеевича с другой стороны составили настоящий акт о том, что в период с 3 мая 2024 г. по 20 сентября 2024 г. сотрудниками ФГБОУ ВО Бурятская ГСХА Раднаевым Д.Н., Дамбаевой Б.Е. внедрена на полях СПК «Колхоз Искра» научно-техническая разработка: усовершенствованный сошник.

1. В процессе внедрения выполнены следующие работы:

Проведен посев опытных участков яровой пшеницы сорта «Бурятская 79» на площади 273 га с нормой высева 210 кг/га всхожих семян. Для посева использовалась серийная сеялка СЗУ-3,6 оснащенная усовершенствованным сошником для посева зерновых культур. Определены качественные показатели высева сеялок: равномерность семян по площади поля и глубине заделки, динамика появления всходов и биологическая урожайность с опытных делянок.

2. Техничко-экономические и социальные показатели внедрения разработки по сравнению с базовым вариантом:

- по итогам производственной проверки сеялки СЗУ-3,6 оснащенной усовершенствованным сошником при посеве семян пшеницы, по сравнению с базовым вариантом получены следующие результаты:

- количество семян, заделанных на заданную глубину с допустимыми отклонениями ± 1 см составили 81% усовершенствованным сошником против 67% серийным сошником;

- количество растений, обеспеченных расчетной площадью питания составило 77,3 усовершенствованным сошником против 67,7% серийным сошником;

- урожайность зерновых при посеве экспериментальными сошниками составила – 15,1 ц/га, а на контрольных посевах 13,2 ц/га.

Предложения о дальнейшем внедрении работы и другие замечания:

По результатам производственных испытаний на полях СПК «Колхоз Искра» рекомендовано использовать усовершенствованный сошник, имеющий прикатывающий каток с рыхлителем.

Акт составлен в 3 экземплярах

Представители хозяйства:

 Болонев С.А.

Представители академии:

 Раднаев Д.Н.

 Дамбаева Б.Е.