

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ВОРОНЕЖСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Г.Ф.  
МОРОЗОВА»

На правах рукописи

Ушаков Никита Олегович



**ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ПАРАМЕТРОВ СОШНИКА ЛЕСОПИТОМНИКОВОЙ СЕЯЛКИ ДЛЯ  
ПОСЕВА СЕМЯН СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ**

05.21.01 – Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель,  
доктор технических наук, профессор  
Драпалюк Михаил Валентинович

Воронеж – 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	10
1.1 Анализ технологий посева мелких сыпучих семян и конструкций сошников и загортачей сеялок в сельском и лесном хозяйстве .....	10
1.2 Анализ исследований процессов и параметров рабочих органов для образования посевных борозд и заделки семян .....	25
1.3 Выводы .....	34
1.4 Цель и задачи исследования .....	35
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ И СИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОШНИКА ЛЕСНОЙ СЕЯЛКИ ДЛЯ ПИТОМНИКОВ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ .....	37
2.1 Обоснование конструктивно-технологической схемы лесной сеялки .....	37
2.2 Математическая модель взаимодействия сошника с почвой .....	39
2.3 Компьютерная программа для моделирования движения в почве сошника лесной сеялки для питомников .....	43
2.4 Исследование качества заделки семян сошником на основе моделирования методом динамики частиц .....	49
2.4.1 Исследование влияния параметров сошника на показатели качества заделки семян .....	49
2.4.1.1 Влияние глубины хода сошника .....	51
2.4.1.2 Влияние угла вхождения сошника в почву .....	52
2.4.1.3 Влияние длины скобы сошника .....	53
2.4.2 Оптимизация параметров сошника лесопитомниковой сеялки .....	55
2.5 Разработка 3D модели сошника, учитывающая его геометрические и массовые характеристики .....	61
2.6 Выводы .....	69
3 МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ СОШНИКА .....	71
3.1 Методика лабораторных исследований рабочих процессов сошника .....	71

3.2 Оценка адекватности разработанной модели.....	79
3.2 Выводы.....	82
<b>4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ СОШНИКА ЛЕСОПИТОМНИКОВОЙ СЕЯЛКИ .....</b>	<b>84</b>
4.1 Методика проведения лабораторно-полевых исследований.....	84
4.2 Результаты экспериментальных исследований .....	88
4.3. Обработка данных полученных в ходе проведения экспериментальных исследований .....	89
4.4 Экспериментальная оптимизация параметров сошника лесной сеялки для питомников .....	93
4.4 Выводы .....	99
<b>5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИКО - ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА МАШИНЫ .....</b>	<b>100</b>
<b>ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....</b>	<b>103</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>106</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А – Энергетические данные работы сошника лесопитомниковой сеялки, полученные в ходе лабораторного эксперимента .....</b>	<b>123</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Результаты описательной статистики экспериментальных исследований.....</b>	<b>127</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В -Акты внедрения в производство.....</b>	<b>129</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ – Г Расчет экономического эффекта от внедрения нового сошника лесопитомниковой сеялки</b>	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность исследования.** Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года, утвержденная 20 сентября 2018 г. Распоряжением Правительства РФ № 1989-р, предусматривает «Реализацию комплекса мер по развитию питомнических хозяйств и развитие материально-технической базы путем обеспечения модернизации парка лесохозяйственных машин и оборудования в современном лесовосстановлении, что «предполагает сосредоточение усилий научного, производственного и административного контингента в установлении взаимосвязи «посадочный материал – питомник – арендаторы лесных земель. Опыт стран с развитым лесным хозяйством показывает, что баланс между выбором технологического процесса посадки семян для технологии восстановления лесов постепенно, но неуклонно смещается в сторону высева. Так, в Финляндии при искусственном лесовосстановлении «the proportion of planting decreased from 82 to 74 %, and the proportion of direct seeding increased from 18 to 26 %».

На существующих отечественных и зарубежных лесопитомниковых сеялках применяются способы посева, включающие сдвиг верхнего слоя почвы с образованием базовой поверхности, нарезку посевной борозды на заданную глубину от базовой поверхности, посев семян и их заделку.

Однако данный способ посева не отвечает агротехническим требованиям ввиду того, что заделку семян производят путем обрушения стенок посевной борозды, в результате чего происходит перемешивание подсушенных верхних и влажных нижних почвенных частиц, приводящее к изреженным всходам и неравномерному развитию растений.

В связи с этим необходимо проведение дополнительных теоретических и экспериментальных исследований новых конструкций новых лесопитомниковых сеялок, позволяющих обеспечить снижение

энергоёмкости процесса посева семян, упрощение конструкции устройства для посева семян и повышение качества, поэтому тема диссертации является актуальной.

Диссертация выполнена в рамках госбюджетной тематики кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ВГЛТУ: «Разработка и обоснование параметров рабочих органов грунтометательной машины для тушения низовых пожаров», шифр: 116092210006, сроки выполнения с 2016 по 2020 гг., и «Разработка технологий и техники для лесовосстановления и защиты лесов от пожаров с обоснованием типа и параметров рабочих органов проектируемых машин на основе цифровых методов моделирования», сроки выполнения с 2021 по 2025 гг.

#### **Степень разработанности проблемы.**

Состояние проблемы и задачи исследований. Успешное решение проблемы механизированного посева возможно при комплексном подходе с учётом главных-биологических факторов. Исследованиям рабочих процессов сеялок в сельском и лесном хозяйстве посвятили свои работы: В.В. Докучаев, Д.Н. Прянишников, В.П. Горячкин, В.А. Желиговский, В.А. Саун, П.Н. Литвак, Г.А. Сорока, Г.Ф. Морозов, В.Н. Сукачев, Г.Н. Редько, А.Р.Родин, О.М. Шапкин, И.И. Дроздов, Н.А. Смирнов, Е.Н. Наквасина, М.В. Драпалюк, И.И. Бартенев, В.И. Казаков, А.Ф. Алябьев, Ф.В. Пошарников, Л.Т. Свиридов, И.В. Казаков, К.Р. Казаров и др.

**Целью исследования** является повышение качества и снижение энергоёмкости процесса посева, путем совершенствования конструкции сошника лесопитомниковой сеялки для посева семян сосны обыкновенной.

#### **Задачи исследования:**

1) усовершенствовать рабочий процесс сошника сеялки для посева семян сосны обыкновенной в лесопитомниках, за счет повышения качества посева и снижения энергоёмкости процесса посева семян;

2) разработать математическую и имитационную модели, взаимодействия рабочих плоскостей сошника при посеве семян сосны

обыкновенной;

3) установить качественные и динамические показатели рабочих процессов сошника сеялки в зависимости от конструктивно-технологических параметров сошника;

4) провести апробацию рабочих процессов сошника для посева семян сосны обыкновенной в лесопитомниках и технико-экономическое обоснование экспериментального образца лесопитомниковой сеялки.

**Объектом исследования** является сошник лесопитомниковой сеялки и процесс посева семян.

**Предметом исследования** являются конструкция и параметры сошника лесопитомниковой сеялки в виде П-образной скобы с вертикальными боковыми стенками и наклонным ножом и качество посева семян.

**Научная новизна работы:**

1) усовершенствован рабочий процесс сошника сеялки для посева семян сосны обыкновенной в лесопитомниках, отличающийся повышением качества и снижением энергоемкости процесса посева семян;

2) разработана математическая и имитационная модели взаимодействия рабочих плоскостей сошника припосеве семян сосны обыкновенной в лесопитомниках, отличающиеся учетом конструктивных и технологических параметров сошника новой лесной сеялки;

3) установлены зависимости качественных и динамических показателей рабочих процессов от конструктивно-технологических параметров сошника, отличающиеся возможностью обоснования и оптимизации параметров и режимов работы;

4) разработаны рекомендации по созданию лесопитомниковой сеялки содержащей сошник в виде П-образной скобы с вертикальными боковыми стенками и наклонным ножом, отличающиеся повышением качества и эффективности процесса посева семян сосны обыкновенной в лесопитомнике.

**Теоретическая значимость работы** состоит в расширении основных

положений теории взаимодействия сошника в виде П-образной скобы с почвой; получении теоретических зависимостей отражающих влияние конструктивно-технологических параметров сошника на качественные и энергетические показатели процесса посева семян сосны обыкновенной в лесопитомнике.

**Практическая значимость работы** состоит в разработке новой конструкции сошника в виде П-образной скобы и рекомендаций по выбору параметров нового сошника лесной сеялки для повышения качества и снижения энергоемкости процесса посева семян. Результаты исследований используются в ООО «Сталь–синтез», в учебно-опытном лесхозе Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова и в учебном процессе ФГБУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» при подготовке бакалавров и магистров.

**Методологическая, теоретическая и эмпирическая база исследования.** В качестве базы исследований использовались труды ученых в области механизации лесохозяйственных работ, методы моделирования процесса посева лесных семян на основе метода динамики частиц, современная тензометрическая аппаратура и методы статистической обработки опытных данных.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

1) рабочий процесс сошника сеялки для посева семян сосны обыкновенной в лесопитомниках, позволяющий повысить качество и снизить энергоемкость процесса посева семян;

2) математическая и имитационная модели взаимодействия рабочих плоскостей сошника при посеве семян сосны обыкновенной в лесопитомниках, позволяющие учитывать конструктивные и технологические параметры сошника новой лесной сеялки;

3) зависимости качественных и динамических показателей рабочих процессов от конструктивно-технологических параметров сошника,

позволяющие обосновать и оптимизировать параметры и режимы работы лесопитомниковой сеялки;

4) рекомендации по созданию лесопитомниковой сеялки содержащей сошник в виде П-образной скобы с вертикальными боковыми стенками и наклонным ножом, позволяющие повысить качество и эффективность процесса посева семян сосны обыкновенной в лесопитомнике.

**Степень достоверности и апробация результатов работы.** Достоверность результатов работы обеспечивается большим объемом экспериментальных исследований опытного образца лесной сеялки, высоким процентом совпадения результатов теоретических исследований с полученными экспериментальными данными; использованием современных методов проведения экспериментов и обработки полученных результатов.

Основные результаты диссертации доложены на четырех международных научно-технических конференциях (г. Воронеж, 2021, 2022 гг.), трех всероссийских научно-технических конференциях (г. Воронеж, 2021 гг.), а также ежегодных научно-практических конференциях ФГБУ ВО ВГЛТУ (2015–2022 гг.).

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Полученные научные результаты соответствуют пункту 5 «Обоснование и оптимизация параметров и режимов работы лесозаготовительных и лесохозяйственных машин» паспорта специальности 05.21.01 – Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства.

**Личный вклад автора** заключается в проведении анализа конструкций и рабочих процессов, отечественных и зарубежных сеялок, разработке новой лесопитомниковой сеялки и математической и имитационной модели ее рабочего процесса, в изготовлении опытного образца, проведении экспериментальных исследований и обработки их результатов, в подготовке основных публикаций по теме диссертации.

**Публикации.** Основные научные разработки по теме диссертации опубликованы в девяти научных работах, в том числе три работы в изданиях,

рекомендованных ВАК, один патент на изобретение, одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ и одна статья Scopus.

**Структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти разделов, выводов и рекомендаций, списка использованных источников и приложений. Общий объем работы 140 страниц машинописного текста, включающего 105 страниц основного текста, 14 таблиц, 78 рисунков.

# 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

## 1.1 Анализ технологий посева мелких сыпучих семян и конструкций сошников и загортачей сеялок в сельском и лесном хозяйстве

Получение урожаев с высокой степенью всхожести и стабильности является одной из приоритетных задач разработки новых устройств механизации лесного и сельского хозяйства [31]. Всхожесть посевного материала напрямую зависит от качественной работы посевных агрегатов и комплексов. В связи с этим качественная и проработанная технологии посева семян, её конструкционная связь с другими узлами может быть достигнута при обширном и тщательном обзоре существующих способов и технологий посева.

Широко распространенными посевными машинами в том числе и для посева мелких сыпучих семян являются стерневые сеялки-культиваторы СЗС-2.1 и СКП-2.1 (рисунок 1.1) [35].

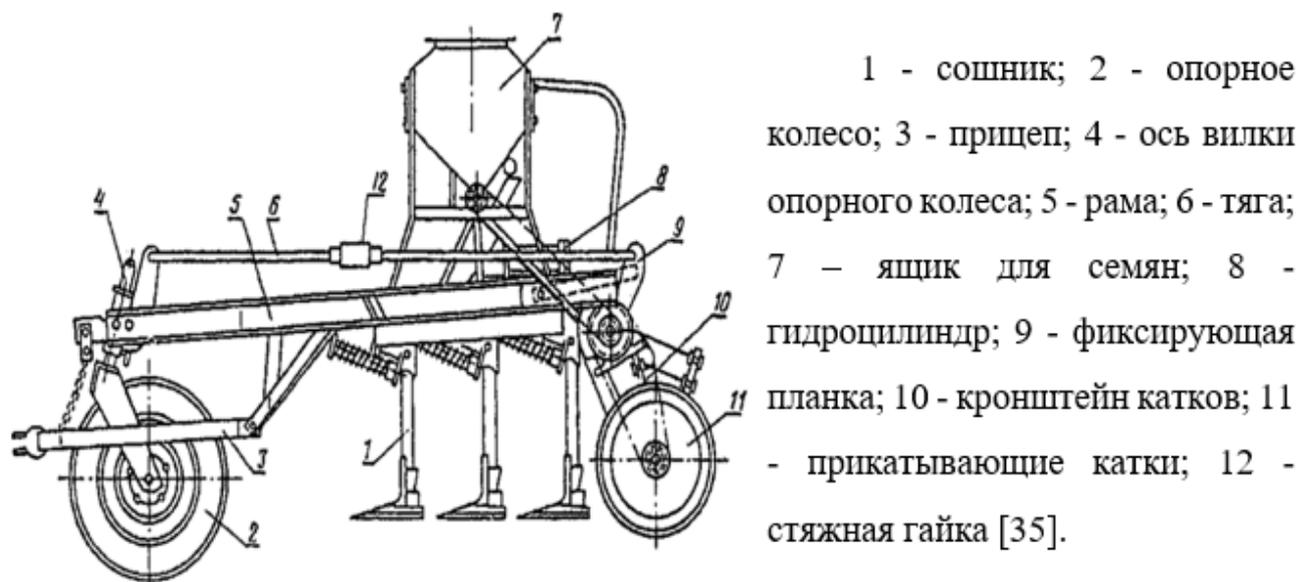
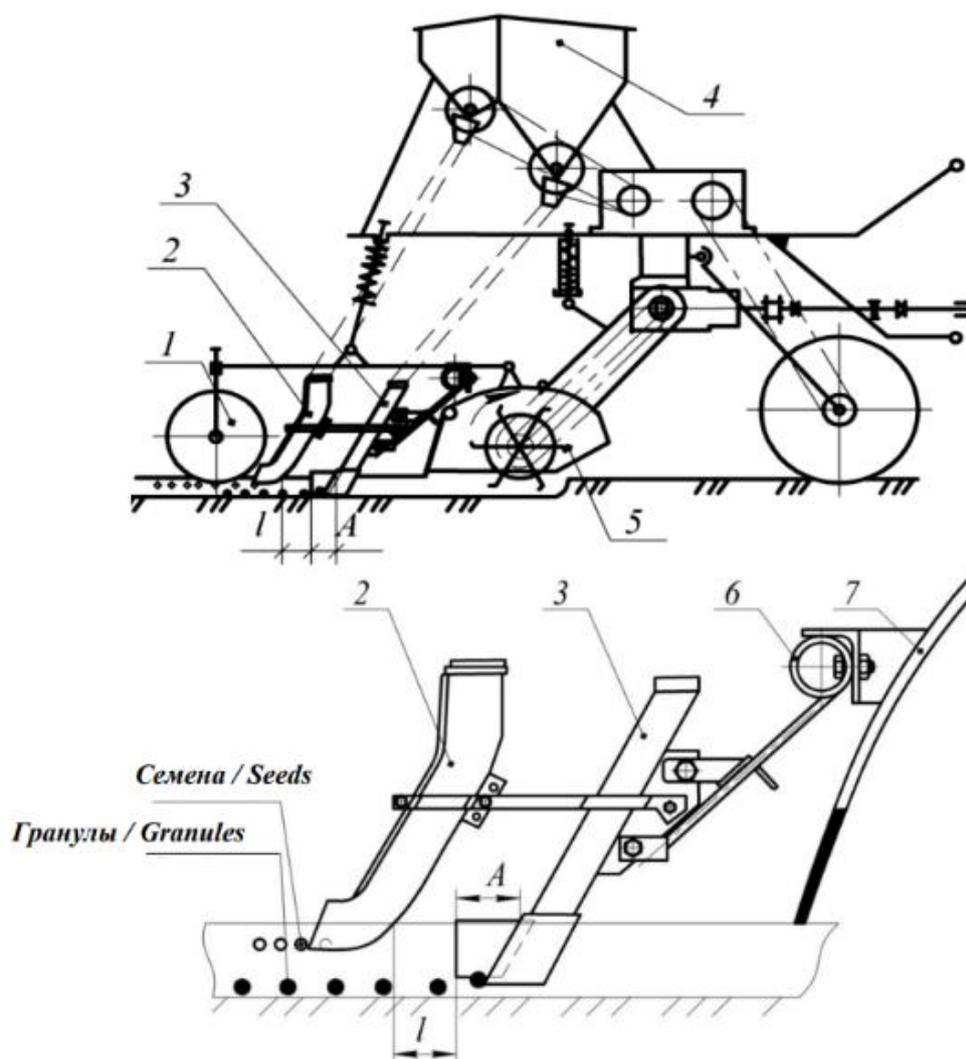


Рисунок 1.1 – Общий вид сеялки-культиватора СЗС-2.1 и СКП-2.1

Данные агрегаты используются для посева семян двумя способами:

подпочвенным методом и путем разброса семян, они могут быть использованы в районах с климатически низким уровнем влажности почвы, а также с присутствием её эрозии. Данные посевные комплексы имеют ряд важных преимуществ таких как: возможность создания защиты от существенной эрозии почвы, способность работать длительное время на существенных площадях из-за включения в конструкцию объемного грузочного бака, высокая маневренность, способность работать со многими тракторами. Однако данные сеялки имеют некоторые недостатки: высокая стоимость, неравномерность распределения семян по площади питания, которая зависит от конструктивных особенностей направлятеля-распределителя семян [34, 36-38]. Равномерность распределения семян по площади по мнению авторов [49, 47, 100, 69] может быть увеличена за счет снижения пульсации потока семян при их движении до семенного ложа от аппарата высева, а также за счет применения в конструкции лаповых сошников, что позволит перейти к подпочвенно-разбросному посеву.

Существует технология посева семян, разработанная в ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров академиком Сысуевым В.А. [111,31] на основе семейства сеялок СДК (рисунок 1.2). Данная технология заключается в повышении качества посева семян способом полосного посева фрезерованием. Предложенная технология на первом этапе предполагает предпосевную полосную обработку фрезами в форме дисков и высева удобрений шириной разброса не более  $1/3$  от полосы обработки. На втором этапе происходит сошниковое уплотнение посевного ложа, в которое осуществляется высева семян с последующим прикатыванием почвы [66, 115, 64].



1 – прикатывающий каток; 2 - семенной сошник; 3 - туковый сошник; 4 - зернотуковый ящик; 5 - фрезерный бороздовскрыватель; 6 – механизм подвеса сошниковой группы; 7 – защитный кожух

Рисунок 1.2 – Схематическое изображение сеялки для полосного посева с сошниковой группой. (а) и её сошниковой группы (б)

Данный способ высевания мелких семян производится с одновременным фрезерованием почвы, что позволяет сформировать небольшой разброс по её ширине с высокой равномерность распределения семян. Данная технология совместима с посевом на уплотненное ложе, обеспечивающее оптимальное расположение семян в посевной полосе [65]. Последующее выравнивание почвы осуществляет устранение

многочисленных неровностей, образовавшихся при фрезеровании почвы под действием ноже. Данная операция обеспечивает ровную поверхность взрыхленной почвы, что положительно влияет на всхожесть и качество посева семян [72].

Одним из новых способов посева семян, получающих распрямление является подпочвенно-разбросной посев. Данная методика способна создать благосклонные условия для прорастания семян и как следствие повышение общей урожайности [74]. Данная технология способна увеличить урожайность посевного материала на 10-20% за счет создания повышенной стойкости к эрозии почв, обрабатываемых данным способом, сокращения временного промежутка посева, а также экономии топливно смазочных материалов [63]. Однако данный способ имеет ряд существенных недостатков: большинство применяемых агрегатов и комплексов для данной технологии посева используют лаповый сошник, который имеет малую ширину захвата, нерационально использует бак засева, а также имеет высокие значения пульсации семенного потока, что приводит к недостаточной равномерности распределения семян на заданной глубине посева. Данные недостатки не позволяют добиваться высокой эффективности посева.

Для устранения данных недостатков в «Пензенская ГСХА» была разработана новая конструкция сошника совместимая с технологией применяющей сеялки на пневматической основе. Разработанный агрегат способен, с учетом конструктивных особенностей значительно увеличить на заданной глубине и площади равномерность распределения семян за счет увеличения ширины его захвата при снижении пульсации потока семян [68]. Схема разработанного сошника представлена на рисунке 1.3.

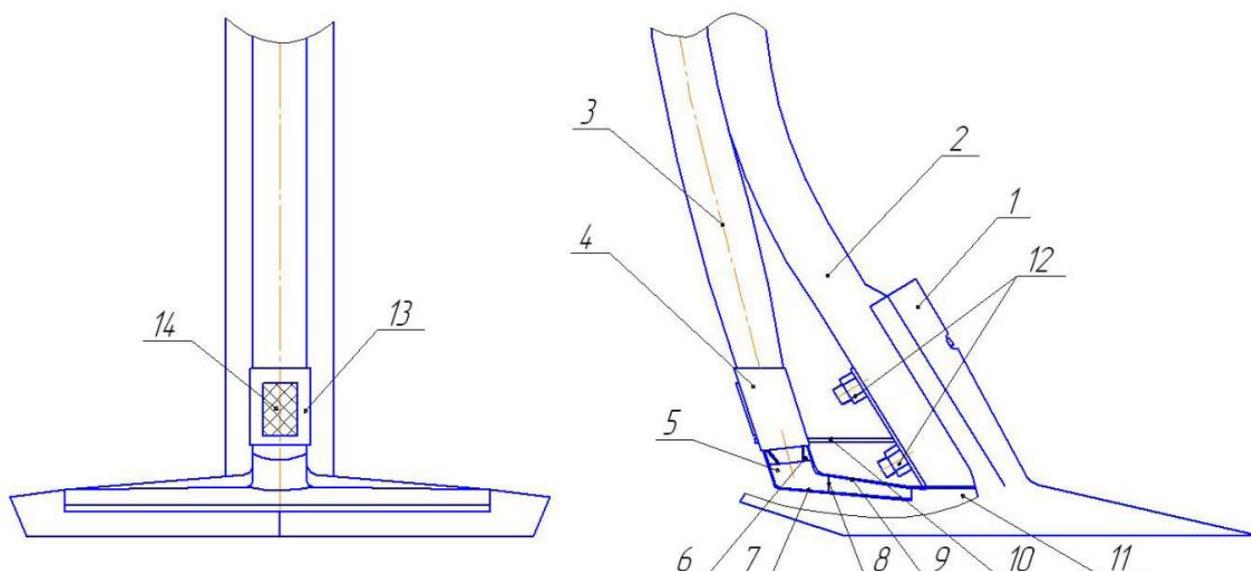


Рисунок 1.3 – Схема сошника, применяемого для пневматической сеялки с направителем-распределителем семян при подпочвенно-разбросном посеве

Сеялки включающие данный сошник устойчиво высевают мелкие семена в диапазоне скоростей 7-12 км/ч с низким отклонением от нормы высева и высоким процентом сохранения семян в борозде.

Для снижения раскатывания семян по дну в исследованиях некоторых автором предлагается применять направитель и скорости-гаситель семян. Была разработана экспериментальная сеялка на базе агрегата СЗ-5,4-0,6 (рисунок 5). При разработке данного агрегата авторы учитывали ударный импульс и скорость семян при выходе из семенного бака в высевающую трубку. Создаваемый поток семян незначительно отскакивает от внутренних стенок трубки, при этом образуя более выровненный и равномерный поток с минимальными повреждениями семян. Гаситель скорости выполнен в форме прикатывающего катка, который снижает скорость при ударе о его колесо. Данное устройство предназначено для семян длиной 3-6 мм, толщиной от 2-4 мм или больше, шириной от 3-6 мм [16, 29, 42, 6, 55].

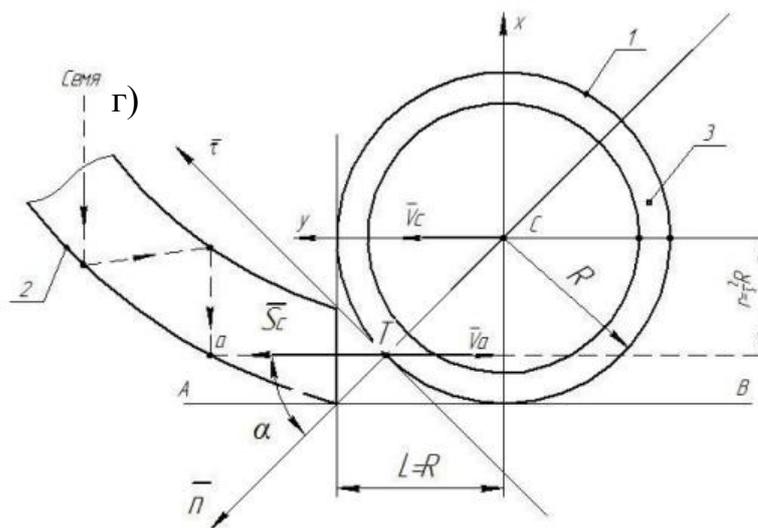
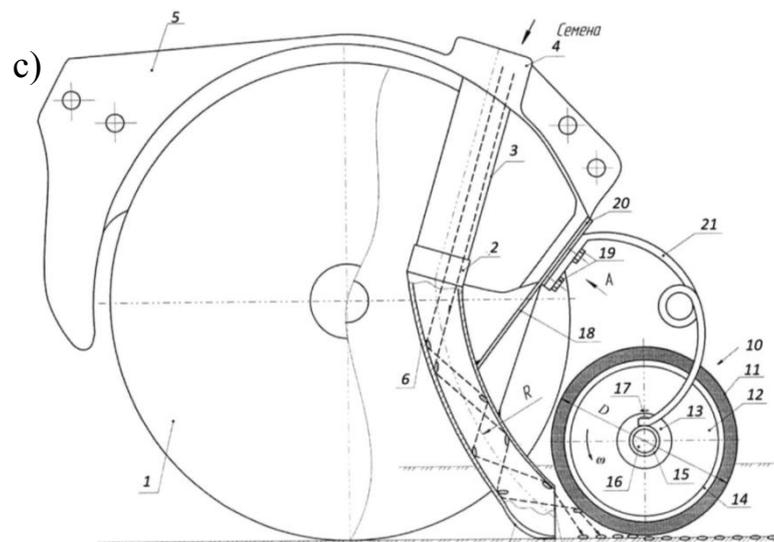
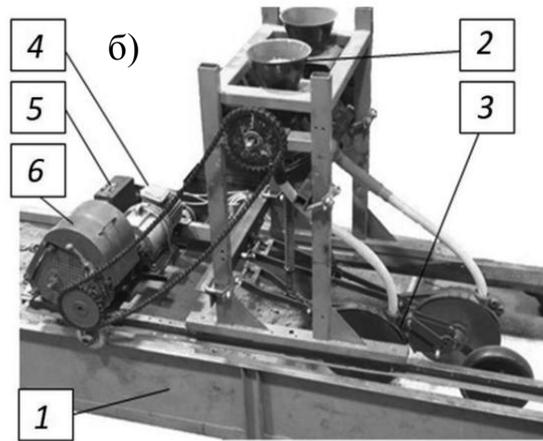


Рисунок 1.4 – Общий вид (а) сеялки СЗ-5,4-0,6, (б) лабораторной установки, (в) агрегата сошника (г) схемы удара семян при разработке экспериментальной установки с гашением скорости семян

Также существует модификация данного сошника с другими параметрами радиус отгиба трубы,  $R=245...255$  мм; толщина гасителя,  $h=5...7$ мм; радиус продольной оси симметрии гасителя,  $R_g=98...102$  мм (рисунок 1.5) [29, 117].



Рисунок 1.5 – Общий вид дискового сошника с узкой трубкой гасителя

Существуют разработки, позволяющие обрабатывать почву в вертикальной плоскости. Предложенные технология позволяет избежать засорения высевающего оборудования при последующей операции посева. К тому же данные сошники предназначены для движения на гораздо более высоких скоростях: от 12 до 20 км/ч [118,120]. Увеличение скорости влияет на ширину борозды, количество налипшей почвы на сошник.

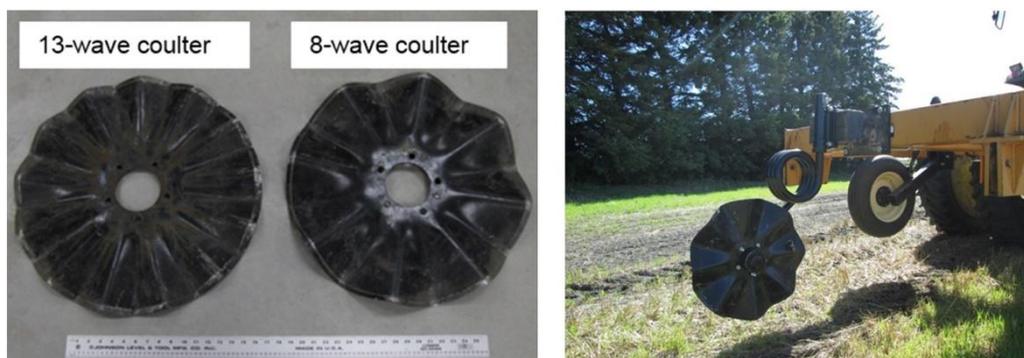


Рисунок 1.6 – Общий вид сошника для вертикальной обработки почвы

Сошники для вертикальной обработки почвы имеют больший диаметр и более сложную геометрию, а также более агрессивную режущую способность. Они значительно различаются по форме, размерам и углам срабатывания. Однако при больших скоростях происходит значительный разброс почвы [89].

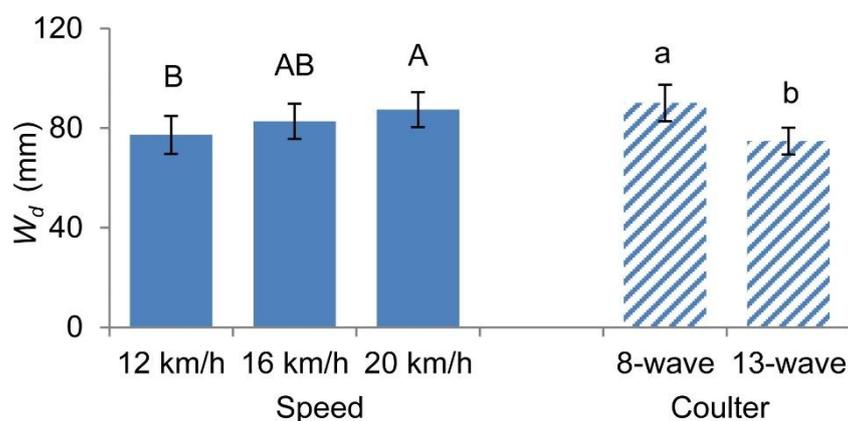


Рисунок 1.7 – изменение разброса почвы в зависимости от скорости при обработке вертикальными сошниками 8 и 13 лепестков

Существуют сошники для «нулевой обработки почвы» предотвращающей эрозию и уплотнение почвы. Данные сошники имеют прямую ось, оканчивающуюся передним зубилом и двумя задними боковыми сошниками шириной 18 см, которые слегка наклонены к направлению работы и изогнуты вверх (90) в своей конечной части (высота 25

мм). Переднее долото прорезает почву на 25–30 мм глубже, чем сошники. Подача семян к каждому агрегату осуществляется через единственную пневматическую трубку от централизованной системы объемного дозирования, что позволяет сеялке принимать определенную степень поливалентности [51]. Также применяю механизм автоматической дозировки семян и двух высеваящих агрегатов с полуактивным демпфером.

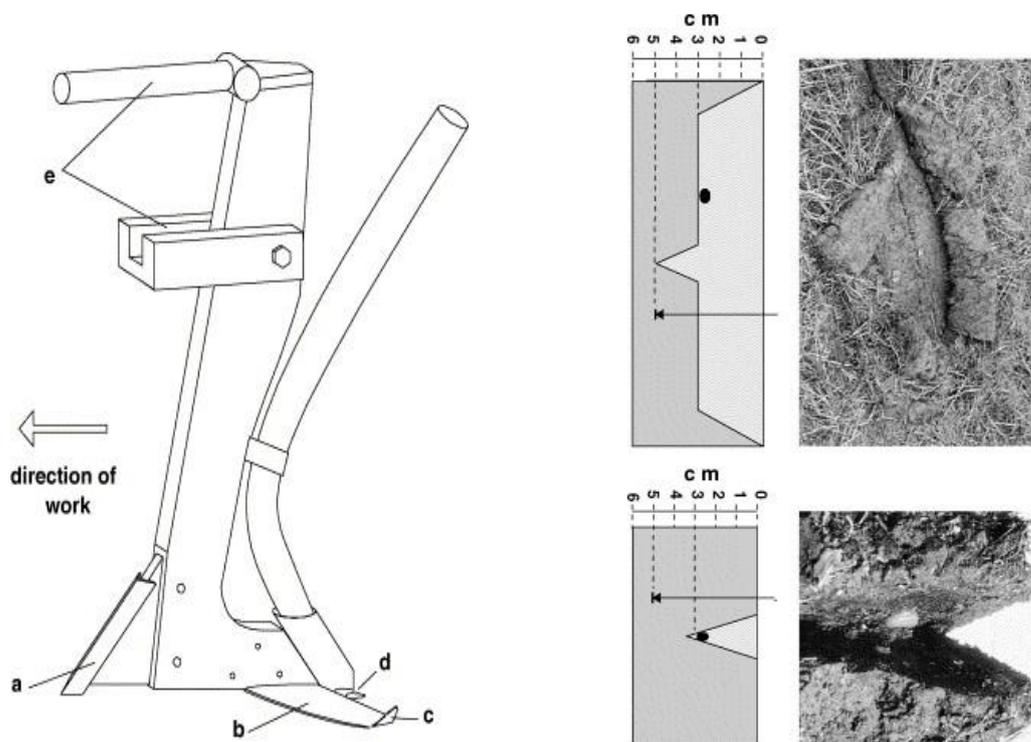


Рисунок 1.8 – Сошник для «нулевой обработки почвы» (а) переднее долото; (б) боковой сошник; (с) конец сошника (загнут вверх); (d) многократный дозатор семян; (е) часть параллельной связи

Была разработана другая разновидность сеялки (рисунок 10) для «нулевой обработки почвы», которая состоит из вибродискового антиблокировочного устройства, рамы, коробки передач, сцепного устройства, сошника, почвоуплотнителя, ящика для семян и удобрений, трехточечной навески, ключевым компонентом сеялки является вибрирующий диск и антиблокировочное устройство [97, 119, 99, 121].

Антиблокирующее устройство состоит из оси кривошипа, шатуна в эксцентричном движении, подшипника, рабочей рамы, валика пальца и двух дисков, а диск установлен непосредственно перед сошниками, поэтому для двух сошников обслуживается антиблокировочное устройство вибрирующего диска [87,120].

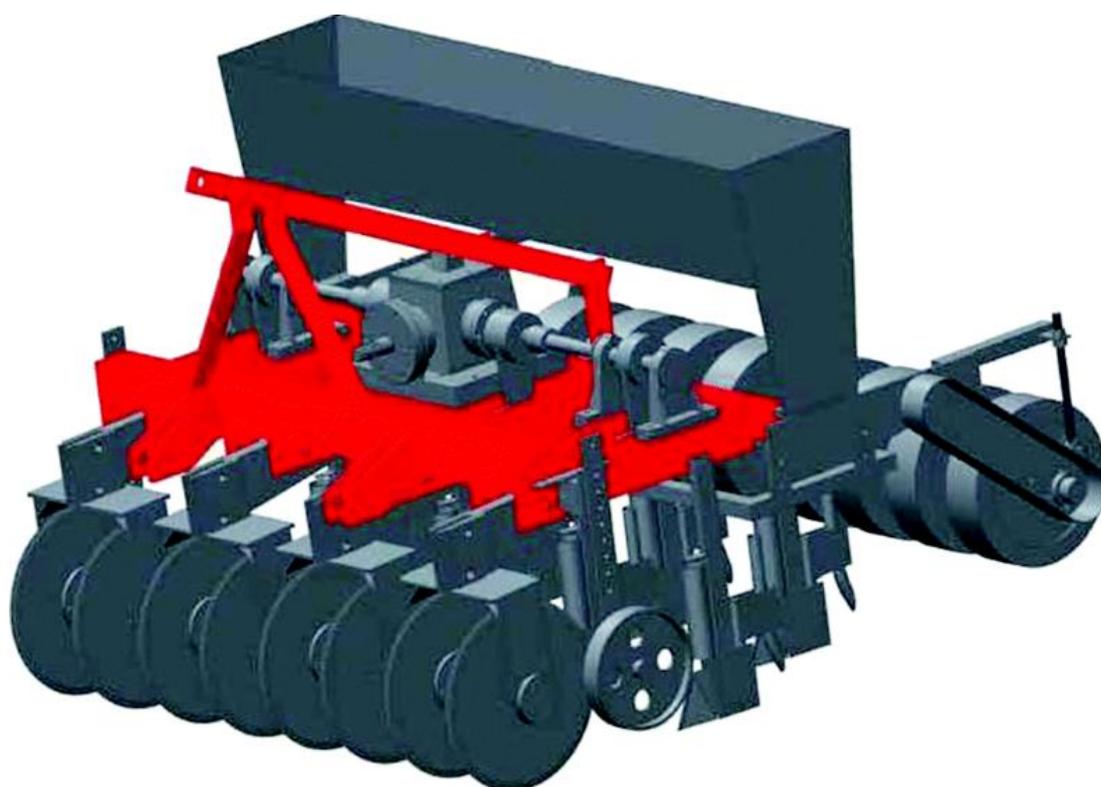


Рисунок 1.9 – Трехмерный твердотельный чертеж сеялки для беспашотной почвы с вибрационным диском

Если существует необходимость в сеялках, способных раскладывать семена равномерно по длине рядка с одновременным внесением удобрений и соблюдении расстояния между почвенной прослойкой, а также предотвращение осыпания борозды применяют комбинированные сошники. Авторами [45] разработан комбинированный сошник для посева семян с одновременным добавлением удобрений. Данный сошник применяется в полевых условиях на сеялке С35,4. Проведенные полевые эксперименты показали, что данный прототип оказывает значительное влияние на

улучшение равномерности распределения семян и удобрений по глубине заделки и длине борозды. Дополнительно при использовании данного агрегата не происходит перемешивание удобрений с семенами, что значительно влияет на урожайность возделываемой культуры.

Новым направлением разработки являются комбинированные сошники, осуществляющие высев семян малых размеров с одновременным разноуровневым внесением минеральных удобрений глубже семян. В Омском аграрном научном центре был разработан комбинированный сошник для посева с одновременным внесением удобрений на базе серийной стерневой сеялки СКП-2,1 (рисунок 11) [106, 104, 95].

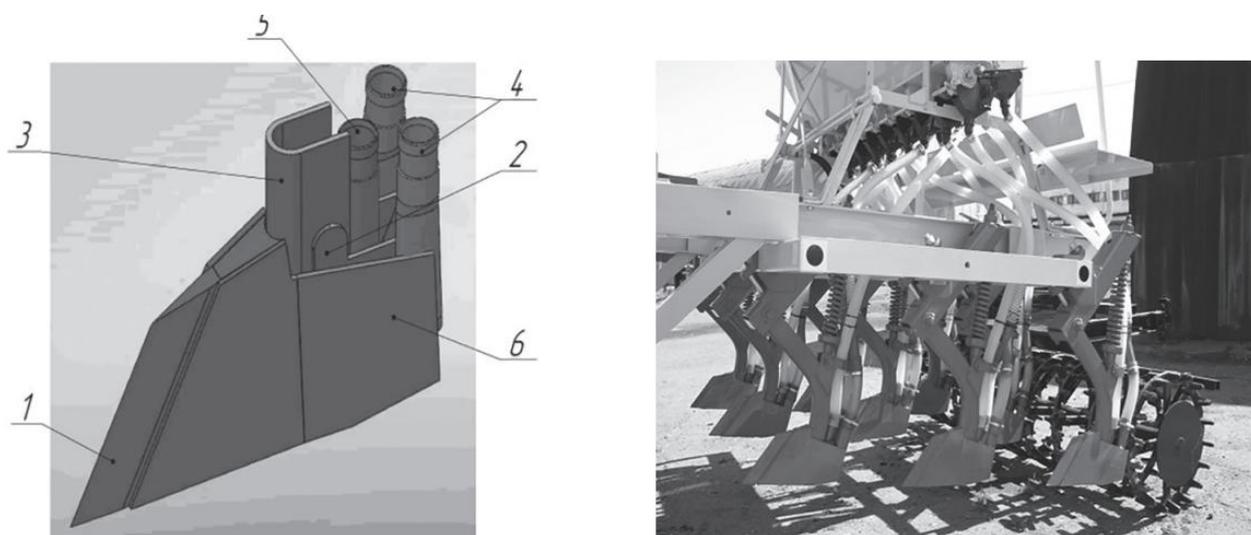


Рисунок 1.10 – Общий вид конструкции комбинированного сошника для одновременного высевания семян и минеральных удобрений, агрегата для его использования

Данная сеялка выполняет двухстрочной посев различных культур в строке 50 мм и расстоянием 80 мм. Агрегат работает следующим образом: семена из ящика подаются в семяпровод, одновременно с минеральными удобрениями через тукопровод. При начале движения сеялки сошниковое долото производит разрез почвы в который через тукопровод попадают минеральные удобрения, далее происходит расширение борозды

ушерителями сошника, формируя при этом две борозды в которые подаются семена. Удобрения подаются ниже сменян, исключая контакт между ними в процессе высева. На последнем этапе происходит уплотнение почвы над сменами кольчато-шпоровыми катками. Всхожесть семян при использовании данной технологии повышается на 10-12 % [78, 96].

Существует еще одна модификация комбинированного сошника, созданная на базе сеялки СО-4,2, включающая фрезу-сеялку. Данный агрегат выполняет как подготовку почвы, так и посев мелких семян с высокой степенью соблюдения агротехнических требований и рекомендаций. В данном устройстве сочетается фрезерно-сошниковая комбинированная работа. Фрезерный агрегат работает от вала трактора и осуществляет формирование посевной борозды с одновременным внесением удобрений и их перемешиванием. Сошник осуществляет заделку семян на глубину 3-6 см путем движения рамки относительно лыжи. Сошники оснащены стаканами, к которым присоединены особым образом семяпроводы. Степень уплотнения почвы может регулироваться за счет перемещения лыжи относительно сошниковой группы. Установленные катки уплотняют почву, а загортаци закрывают борозду рыхлой почвой [1, 7, 18].

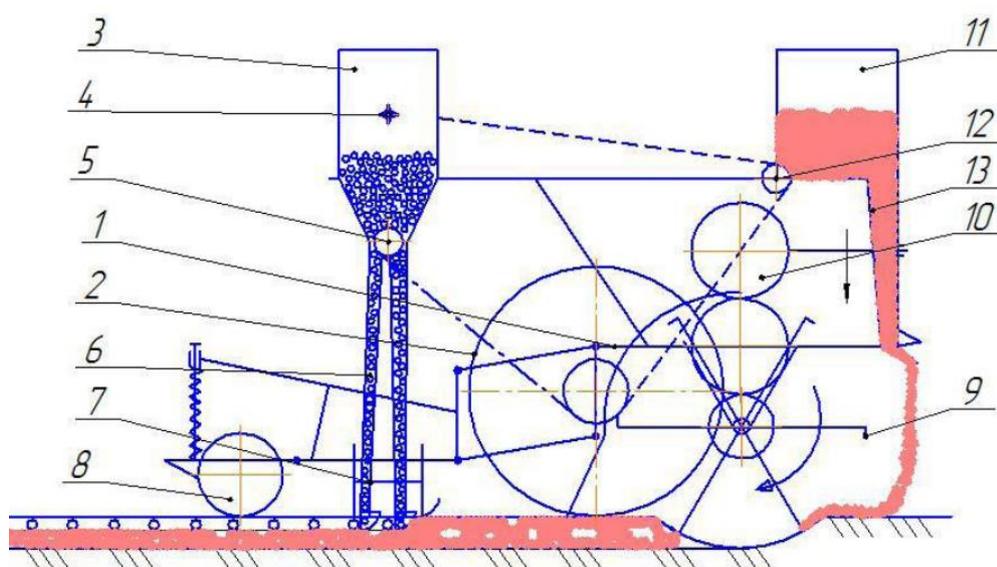
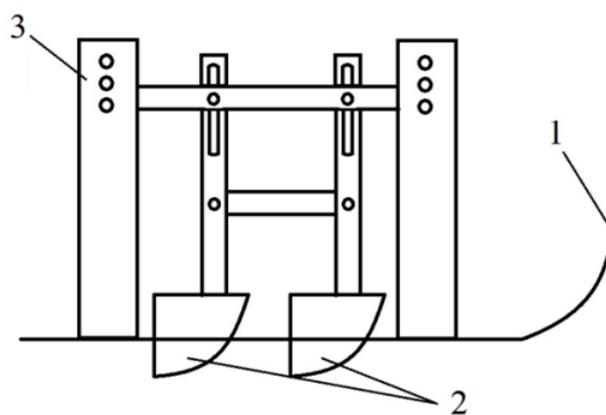


Рисунок 1.11 – Общий вид конструкции фрезы – сеялки для комбинированного высева



1 – лыжа, 2 – сошник, 3 - рамка

Рисунок 1.12 – Сошник комбинированный

Учеными Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета был предложен инновационный способ заделки семян в почву, заключающийся в срезании остатков прошлых урожаев и комков почвнына обрабатываемой поверхности поля, формирования борозды в форме клина с уплотённой почвой на дне и стенками борозды, высев семян и заделку сеян рыхлой почвой [2, 3, 9]. Данная разработка за счет особой конструкции дискового сошника позволяет бороться с налипанием почвы на сошник [9].



Рисунок 1.13 – Конструкция дискового сошника с включением полимерной вставки

Данный агрегат имеет в своем составе бороздообразующие катки с полимерной вставкой, закрепленных к каждому из катков. Использование в конструкции полимерного композита позволяет повысить продуктивность работы и снизить энергозатраты в связи с уменьшением тягового сопротивления. К тому же это способствует снижению общей стоимости сошника [68].

Существует технология посева семян, сочетающая в себе магнитный высевательный аппарат. Данная технология включает в себя образование борозды в форме клина, с образованием уплотненного дна с целью создания высокой степени контакта семян с почвой под углом к борозде

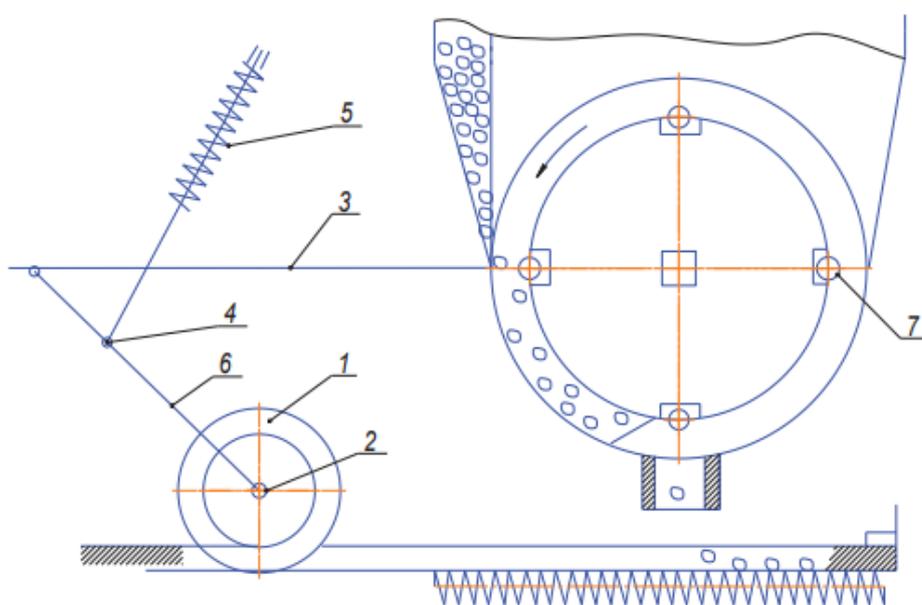


Рисунок 1.14 – Общий вид сеялки для магнитного высевания семян

Известна гребневая сеялка, включающая конструктивно измененные сошники для посева семян и удобрений на разных уровнях. Они закреплены на конструкции рамы в шахматном порядке, содержа при этом стойки и лапы. Стойка направлена в сторону движения сеялки и имеет клиновидную форму. Внутри стойки расположены каналы для семян и удобрений, при этом нижние части каналов немного наклонены. Катки для прикатывания

содержат сферические диски и свободно установлены на оси кольца [44].

Такое конструктивное исполнение гребневой сеялки позволит повысить качество посева культур и образование гребней почвы над высеянными семенами с требуемой плотностью почвы борозды [8].

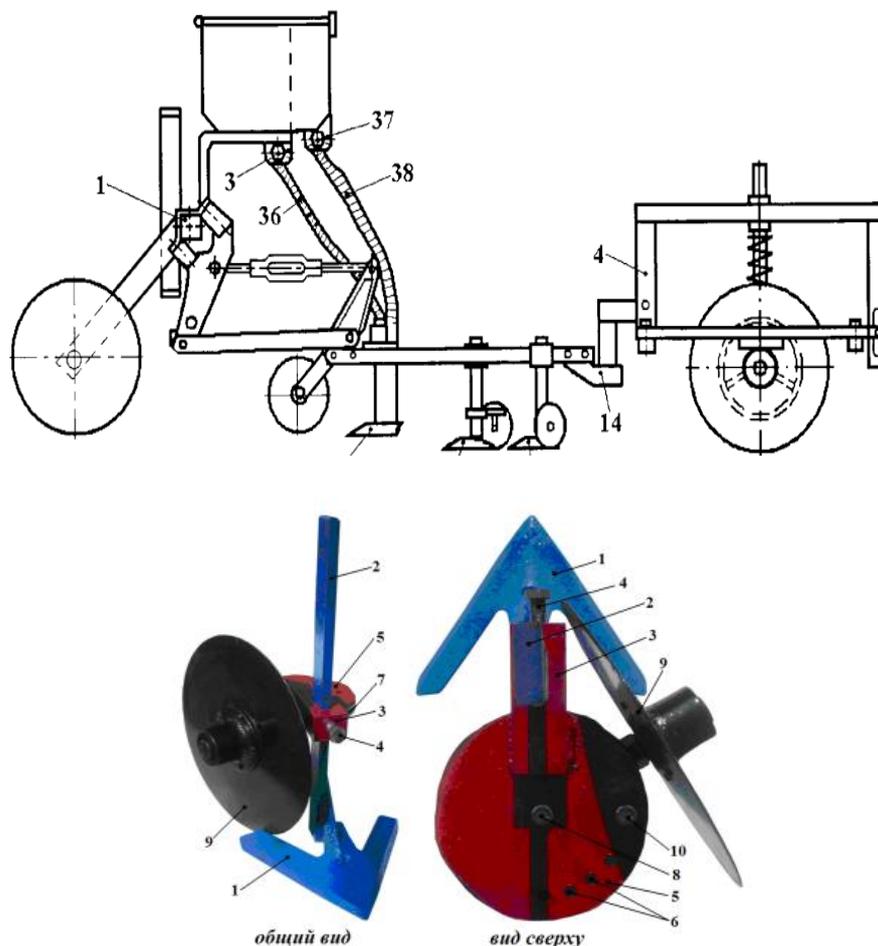


Рисунок 1.15 – Общий вид гребневой сеялки с сошниками в шахматном порядке

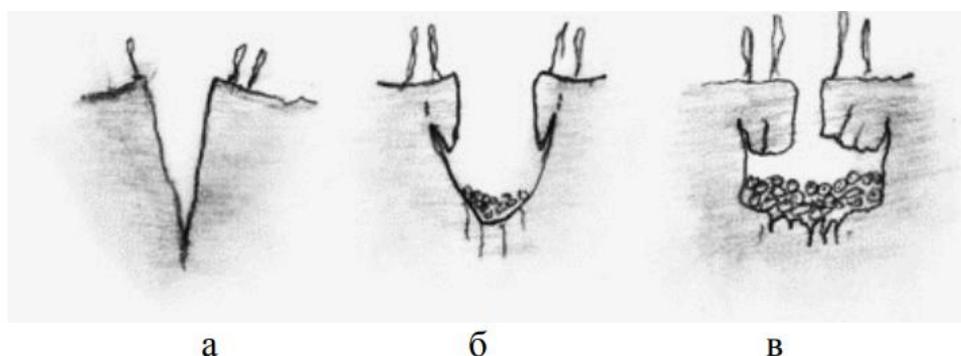
Данный агрегат совмещает в себе несколько операций таких как: подрезание сорняков, рыхление почвы, высев семян и образование борозды с необходимыми размерами и плотностью почвы.

## 1.2 Анализ исследований процессов и параметров рабочих органов для образования посевных борозд и заделки семян

При посадке семян наибольший вклад во всхожесть урожая и как следствие экономическую выгоду вносят агрегаты участвующие в процессе образования посевных борозд и заделки семян рыхлой почвой. Для образования посевных борозд в основном применяются сошники горизонтального вспахивания различной конструкции и параметров. Анализ существующих разработок будет представлен в данном разделе [22].

Зерновой поток из семенного ящика попадает в сошник, поэтому именно сошник создаёт борозду с определенными параметрами для засева семян и их последующей заделки [23].

Борозды для посева получают с использованием различных технологий. Получаемая борозда с острым углом входа перемещает почву снизу-вверх, что делает дно борозды рыхлым. Сошник с тупым углом входа, наоборот, давит на почву сверху вниз, так что дно паза уплотняется. Сошник под прямым углом к входу раздвигает плоскость. Анкерные и лапчатые сошники характеризуются острым углом входа в грунт, трубчатые - прямым углом, а килевидные, полозовидные и все дисковые - тупым углом [24, 25, 50, 33, 52, 53].



а - v образная борозда, б - Uобразная борозда, в – Г образная борозда  
Рисунок 1.16 – Виды борозды, создаваемые различными типами сошников

V- образная борозда при посеве на вспаханной почве образуется при помощи двух плоскостей дисков или плоскостей, сходящихся под определенным углом и отклонённых между собой в верхней части. Семена попадают в зазор между двумя плоскостями, таким образом, чтобы исключить повреждение семян. Данная конструкция имеет ряд преимуществ таких, простота обслуживания, экономичность. Однако данный сошник имеет высокое проникающее усилие, в зависимости от почвы происходит непреднамеренное засыпание борозды и затягивание растительных остатков с поля внутрь, что отрицательно сказывается на контакте семени с почвой. Несмотря на присущие данному сошнику недостатки именно он получил серийное массовое распространение в производстве. Примерами могут служить сеялки «Massey-Ferguson MF-130», «Bettinson DD2» (Великобритания), СЗПП-4 (Россия) и другие [60, 61, 75, 71, 59, 58].

Существует большое количество разработок, способных образовывать U -образные посадочные борозды, к этим агрегатам относятся дисковые, анкерные борозды, а также сошники для прямого посева. Образованная этими соплами рассадная борозда имеет более широкое основание почвы [79].

Данные агрегаты в процессе работы взрыхляют почву рядом с формируемой посевной бороздой, которую в дальнейшем используют для дальнейшего закрытия посевной бороздки загортачем. Преимуществами дынных сошников являются свободное проникновение сквозь растительные остатки на поле, а также отсутствие значительного уплотнения почвы по всему её профилю. Однако данным агрегатам присущи и недостатки такие как втягивание растительных остатков в посевную борозду, что влечет за собой плохой контакт семян с почвой. Формируемая борозда за счет значительной площади склонна к быстрой потере влаги из почвы. При данном способе посева невозможно осуществить операцию отдельного внесения удобрений и семян, а также происходит быстрое изнашивание

агрегатов [48, 57, 56, 91].

Наибольшее распространение среди объединенных сошников, использующих пассивные рабочие органы, получили: «мультириллер» от Коула, «Буффало» Флейшера, оборудование для фермерских хозяйств Бриджера (США), «Леонард» от Гаспардо (Италия), «Эзоп-о-Тилл» от Хиникера, «кинзе " от Коула. 2000» (США), СКП - 6 НПО " Лан " (Украина) и другие [92-98].

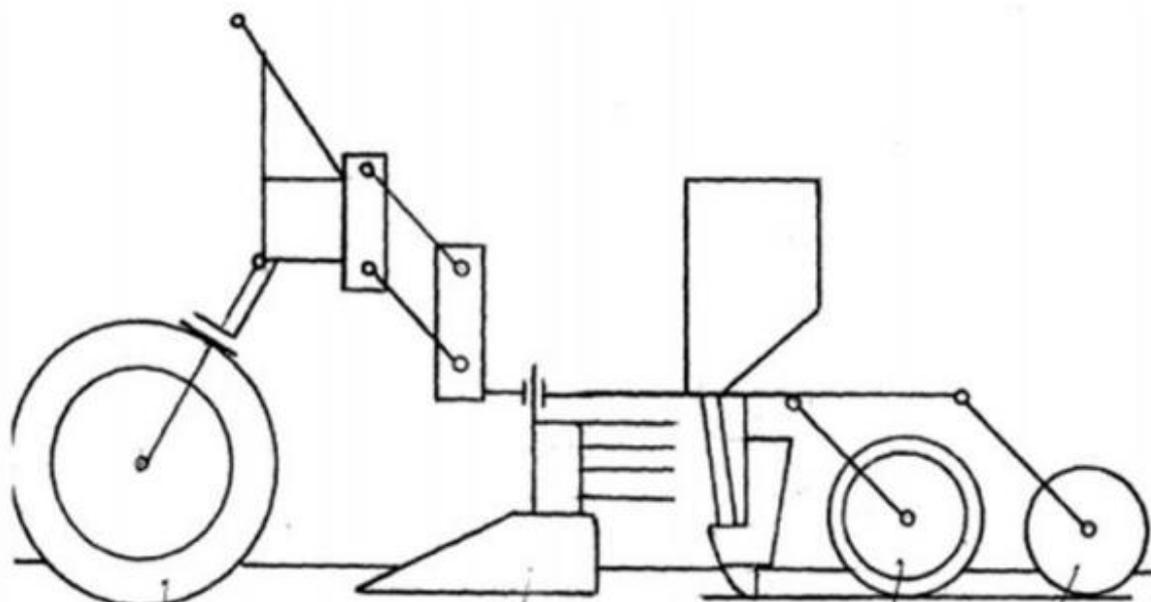
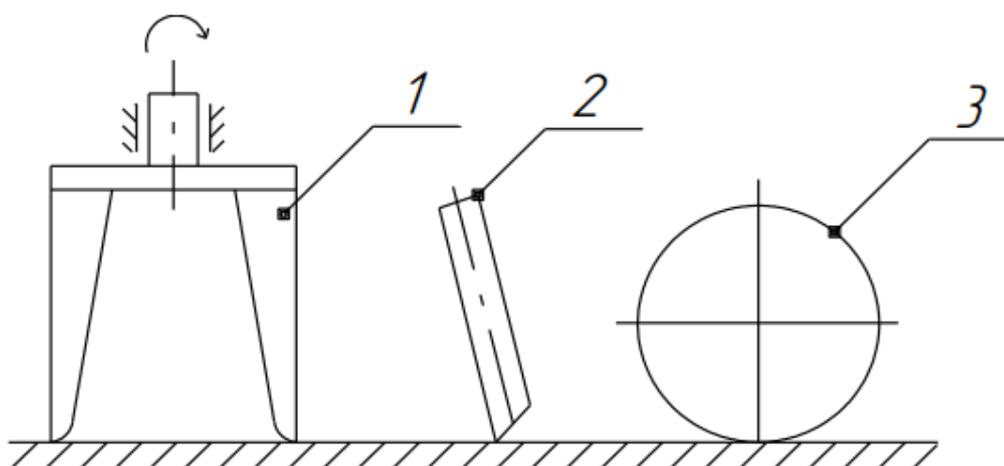


Рисунок 1.17 – Общий вид комбинированной сеялки «Buffalo» фирмы Fleischer

Существенным недостатком данного агрегат с пассивным сошником является высокое его тяговое сопротивление, а также присутствие необходимости значительной нажимной нагрузки в вертикальной плоскости для углубления на необходимую величину. При работе данными агрегатами наблюдается низкая степень измельчения тяжелых почв за едино разовый проход сеялки, а также плохое подрезание сорняков и уплотнение дна посевной борозды [99-105].

Для сеялок с активными рабочими органами в виде вертикальных фрезерных осей вращения можно отнести: "Полонез", который сочетается с

фрезами Hermez (рисунок 1.9); сеялки с использованием фрезы Kuhn HR 104 - 1004; AVR3, 6, "Роторматик"; "Бердин" и другие. Недостатком таких сеялок является небольшая ширина их захвата. Кроме того, при фрезеровании влажных почв они смешивают с сухой, что негативно сказывается на всхожести семян [106-110].



1 – фреза; 2 – семятуконаправитель; 3 – прикатывающий каток

Рисунок 1.18 – Вертикальная фреза фирмы Hermez

В соответствии с агротехническими требованиями мелкие семена лесных и сельскохозяйственных культур обязательно должны быть уложены на влажную уплотненную почву в семенном ложе. При проведении посевных работ в засушливых регионах с высотой сухой почвы 60-70 см применяют бороздковый посев. В данной ситуации используют однодисковые анкерные (рисунок 1.20) сошники, которые позволяют обеспечить приемлемые условия посева за счет разнесенных структурных элементов. Данные сошники формируют U-образный профиль борозды глубиной 50-70 мм методом прорезания почвенных включений и сдвига в межполосное пространство. Происходит создание плотного семенного ложа, с формированием слоя почвы над семенами высотой 30-40 см [55-58].

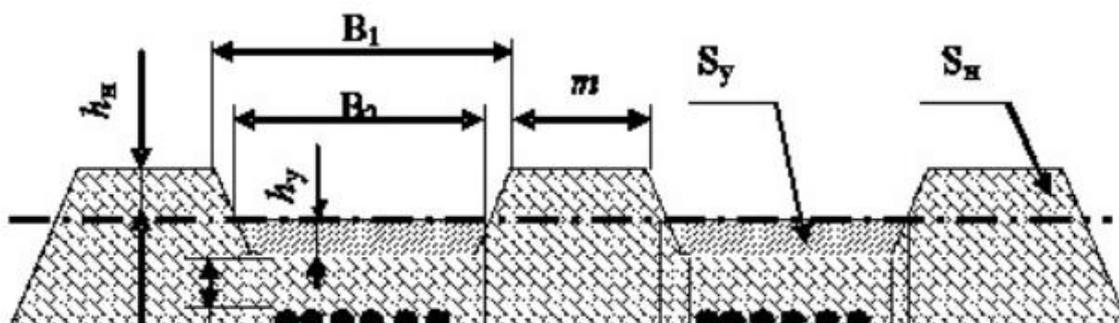


Рисунок 1.19 – Профиль среза почвы при прохождении анкерного сошника

Параметры посевной борозды при полевых исследованиях с влажностью почвы 13-24% и скорости движения сеялки составили: ширина 1150-175 мм., высота слоя при мульчировании 30-50 мм. Максимальная глубина укладки семян наблюдалась при средней скорости (8 км/ч) и высокой влажности 21 %.

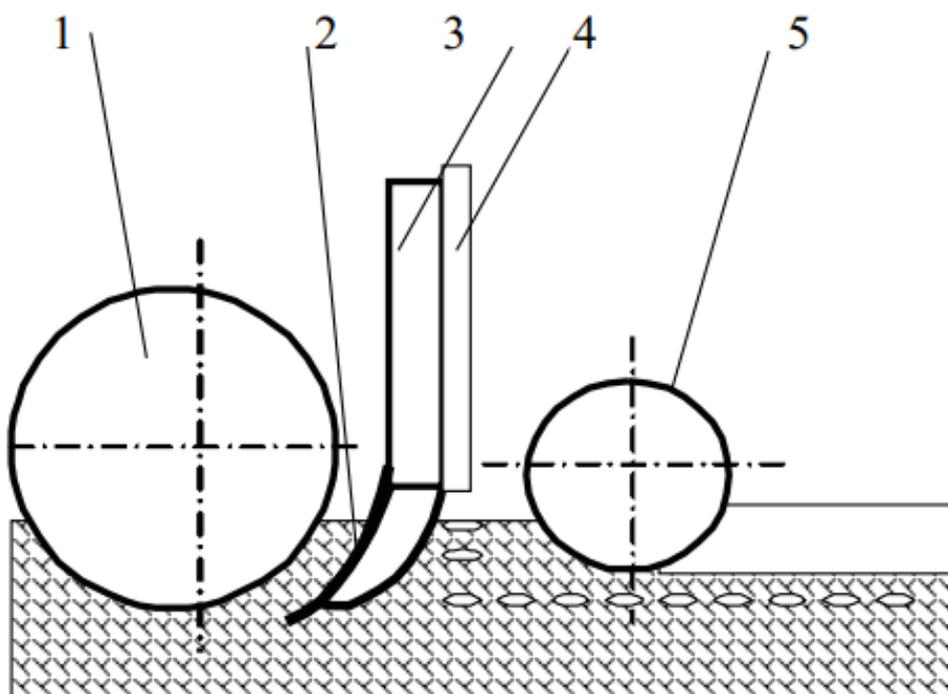


Рисунок 1.20 - Общий вид анкерного сошника для бороздового ленточного посева в условиях низкой влажности

Использование данной разновидности сошника позволяет достичь

укладки семян в слой почвы с высокой влажностью и приемлемой плотностью, что обеспечивает достаточно высокую всхожесть [4].

Профессором Н. П. Ларюшиным был разработан сошник с совмещенным с ним заделывающим устройством борозды, выполняющем функцию загортачи. Данный прототип был получен для решения проблемы неравномерного закрытия семян в борозде и для увеличения равномерности их распределения по глубине (рисунок 4). Два диска сошника (2), расположенные под углом друг к другу и закрепленные на корпусе (1) производят нарезку борозды, семена из бака попадают в воронку (5) и поступают в трубу (3) через раструб (4), которая выполняет функцию направителя семян. После чего семена из трубы через скоростегаситель (7) поступают в борозду, которая заделывается сошником, выполненным в форме пружинных пальцев [21-24].

При полевых испытаниях данного сошника на сеялке СЗ-5.4 было установлено что, происходит значительное улучшение равномерности распределения семян как по длине рядка, так и по глубине их заделки (рисунок 1.21). На ряду с существенными преимуществами были обнаружены и такие недостатки как: образование наклонного дна борозды из-за особенностей углового расположения дисков сошника, а также осыпание стенок борозды, что сказывается на дополнительном раскатывании семян по дну.

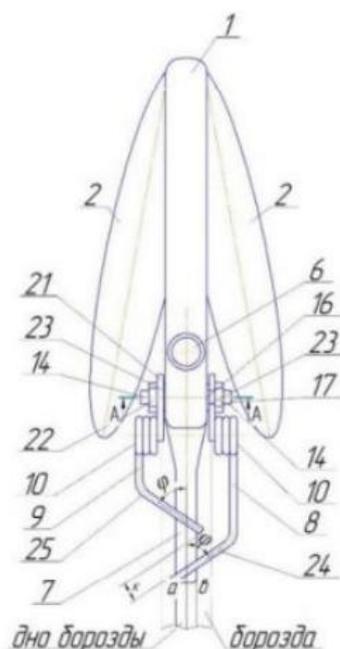


Рисунок 1.21 – Общий вид сошника с заделывающим устройством в виде пружинных пальцев

Повышение равномерности распределения мелких семян при почвенно-рассредоточенном посеве с помощью сеялок с механической рассадой возможно при использовании сошников с двухплановым дозатором семян [53].

Спроектированный сошник состоит из выступа с опорой, имеющей полую структуру. Под ним установлен пассивный дозатор семян, выполненный в виде клина под углом. Грани угла состоят из двух плоскостей, закрепленных под разными углами. Семена, падающие вдоль семенного канала, падают на пересечении граней распределителя, затем отражаются и попадают в среднюю часть нижней части борозды, остальные семена попадают в среднюю часть борозды, а другие попадают в борозду, не касаясь распределителя. Это взаимодействие обеспечивает равномерное распределение семян по ширине рукояткосошника и наконечника стрелы (рисунок 1.22) [54].

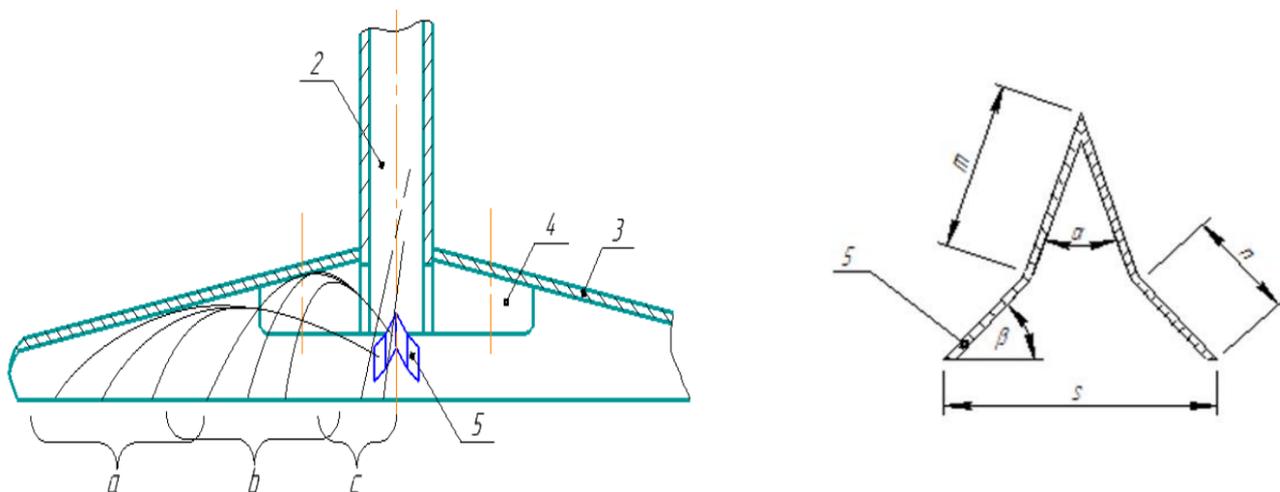


Рисунок 1.22 – Конструкция сошника с пассивным двухгранным распределителем и общая схема распределителя

Для подпочвенного и рассредоточенного посева семян различных зерновых культур был разработан новый сошник для обеспечения равномерного высева семян на склонах полей с высокой степенью уплотнения почвы.

Разработанный в его конструкции сошник включает в себя семенной канал, в котором установлен дозатор семян, сепаратор семян в виде усеченного конуса под углом  $15 \dots 165$  градусов, на одной стороне которого расположена гладкая поверхность, а на другой половине имеются канавки в радиальном направлении [60-62].

Семена, движущиеся по горизонтальному семяпроводу, попадают на срез держателя под углом и направляются в противоположную сторону движения сошника. На данном этапе происходит предварительное распределение семян по семяпроводу. Поток семян попадает в область рассекателей и распределяется по трем направляющим каналам. Значительная величина угла между пластинами рассекателя позволяет обеспечить высокой вариативность мощности создаваемого потока семян. На последнем этапе происходит засыпание семян стрельчатой лапой. Данный сошник может быть установлен на сеялки СЗ-3,6. Его применение позволяет исключить энергозатратную операцию предпосевной подготовки за счет

одновременной работы сошника как высевающего устройства и культиватора [63].

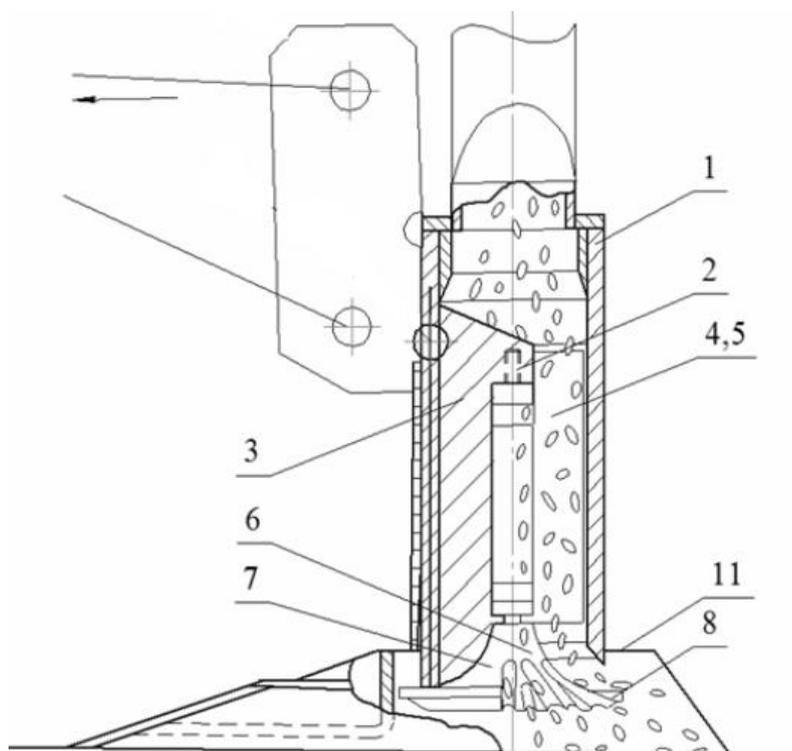


Рисунок 1.23 – Сеялка, применяемая для полосного посева семян СДК

В настоящее время в центральном регионе наиболее распространена сеялка, применяемая для полосного посева семян СДК. В состав данного агрегата входит сменной ящик, совмещенный с высевающим аппаратом, фрезерная секция и загортачи в виде прикатывающих катков. Фреза состоит из ножей Г-образной формы, опорного ролика с кронштейном для изменения глубины обработки, а также кожух, семянаправители.

Недостатком этого устройства является то, что при прохождении клубней по дерну значительная часть обрабатываемого ими грунта остается на необработанной полосе между двумя фрезами, что влияет на уменьшение глубины рыхлого почвенного слоя в обработанных полосах.

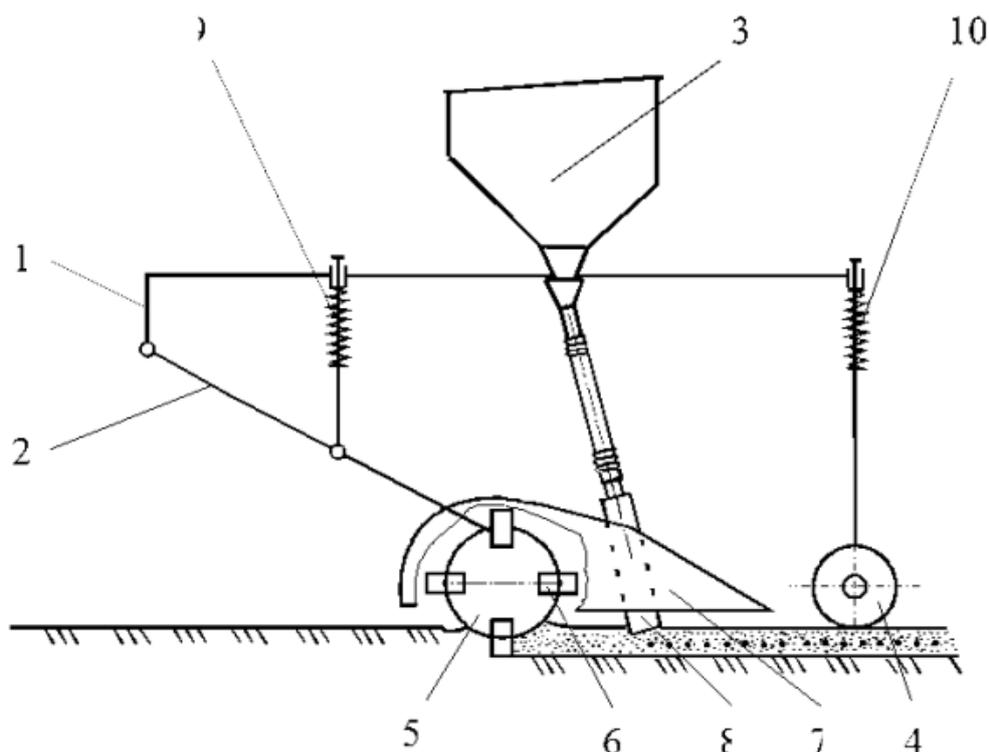


Рисунок 1.24 – Общий вид сеялки с фрезерными ножами для прокладки семенной борозды

Работа сошников существенно влияет на качество посева мелких семян, поэтому для достижения высокого качества посева необходимо: создать условия для качественного размельчения почвы в дернинных полосах; обеспечить формирование необходимой для посева полосы почвы: ширина и глубина; распределять минеральные удобрения и семена по полосам; способствовать уменьшению разбрасывания почв за пределы обработанных полос при прохождении фрез.

### 1.3 Выводы

1. Анализ существующих конструкций сошников, используемых для высева мелких лесных семян, применяемых на существующих и разрабатываемых сеялках, показал, что наиболее эффективным способом является высев семян с одновременным внесением удобрений в почву, однако из-за одновременного внесения удобрений снижается распределение

семян по борозде.

2. Для снижения налипания почвы на сошниковые агрегаты возможно применение полимерных материалов, а также сошников с вертикальным способом формирования посевной борозды.

3. Для комбинированного высевания применяют сеялки с активным способом формирования борозды, в данных агрегатах используются фрезерные ножи, позволяющие создать равномерную, хорошо уплотненную борозду. Данные сеялки показывают высокие значения равномерности распределения семян, однако существует большая сложность в их обслуживании и содержании. Агрегаты, позволяющие достичь наибольшего распределения семян по борозде, включают в свой состав две вертикально соединённые пластины.

4. Способы высева сельскохозяйственных и лесных семян включают несколько операций, выполняемые отдельными рабочими органами, усложняющими конструкцию и увеличивающими габариты сеялки и энергоёмкость процесса посева семян. Поэтому для устранения этих недостатков необходимо разработать и обосновать параметры новой лесной сеялки.

#### 1.4 Цель и задачи исследования

**Целью исследования** является повышение качества и снижение энергоёмкости процесса посева, путем совершенствования конструкции сошника лесопитомниковой сеялки для посева семян сосны обыкновенной.

##### **Задачи исследования:**

1) усовершенствовать рабочий процесс сошника сеялки для посева семян сосны обыкновенной в лесопитомниках, за счет повышения качества посева и снижения энергоёмкости процесса посева семян;

2) разработать математическую и имитационную модели, взаимодействия рабочих плоскостей сошника при посеве семян сосны

обыкновенной;

3) установить качественные и динамические показатели рабочих процессов сошника сеялки в зависимости от конструктивно-технологических параметров сошника;

4) провести апробацию рабочих процессов сошника для посева семян сосны обыкновенной в лесопитомниках и технико-экономическое обоснование экспериментального образца лесопитомниковой сеялки.

## 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ И СИЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОШНИКА ЛЕСНОЙ СЕЯЛКИ ДЛЯ ПИТОМНИКОВ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

### 2.1 Обоснование конструктивно-технологической схемы лесной сеялки

Нами предлагается конструктивно-технологическая схема лесной сеялки с новым сошником (рисунок 2.1). При поступательном движении устройства в почве сошником 7, выполненным в виде П-образной скобы, на глубине  $a$  в поперечном сечении вырезается слой почвы П-образной формы и поднимается на высоту  $h$ , в результате чего образуется пустота над дном посевной борозды, а набегающие на обтекатели 12 частицы почвы огибают их, не скапливаясь перед полыми каналами 9.

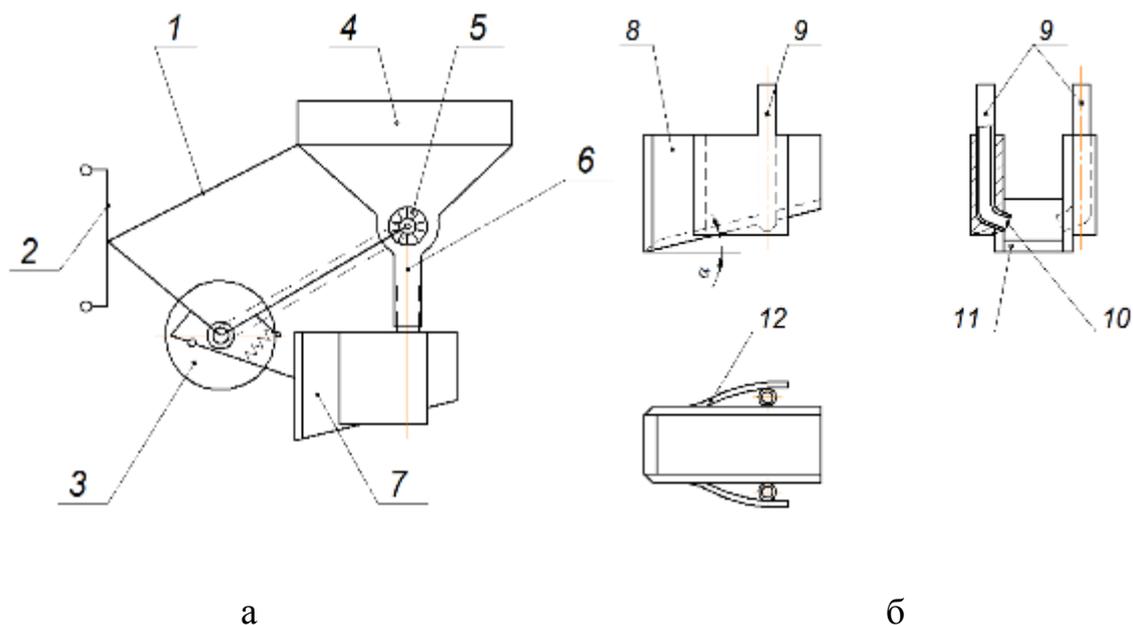


Рисунок 2.1. – Схема сеялки (а) и схема сошника (б) [25]

При этом верхний подсушенный и нижний влажный слои почвы не меняют своего положения относительно друг друга и не перемешиваются между собой. В образовавшуюся пустоту, над дном посевной борозды, со стороны ее боковых стенок под поднятый вырезанный слой почвы через

отверстия 10 полых каналов 9 подаются семена, которые укладываются на дно посевной борозды. После этого поднятый вырезанный слой почвы с наклонного ножа 11 под действием собственной силы тяжести возвращается в посевную борозду (на прежнее место), заделывая семена влажным слоем почвы (рисунок 2.2).

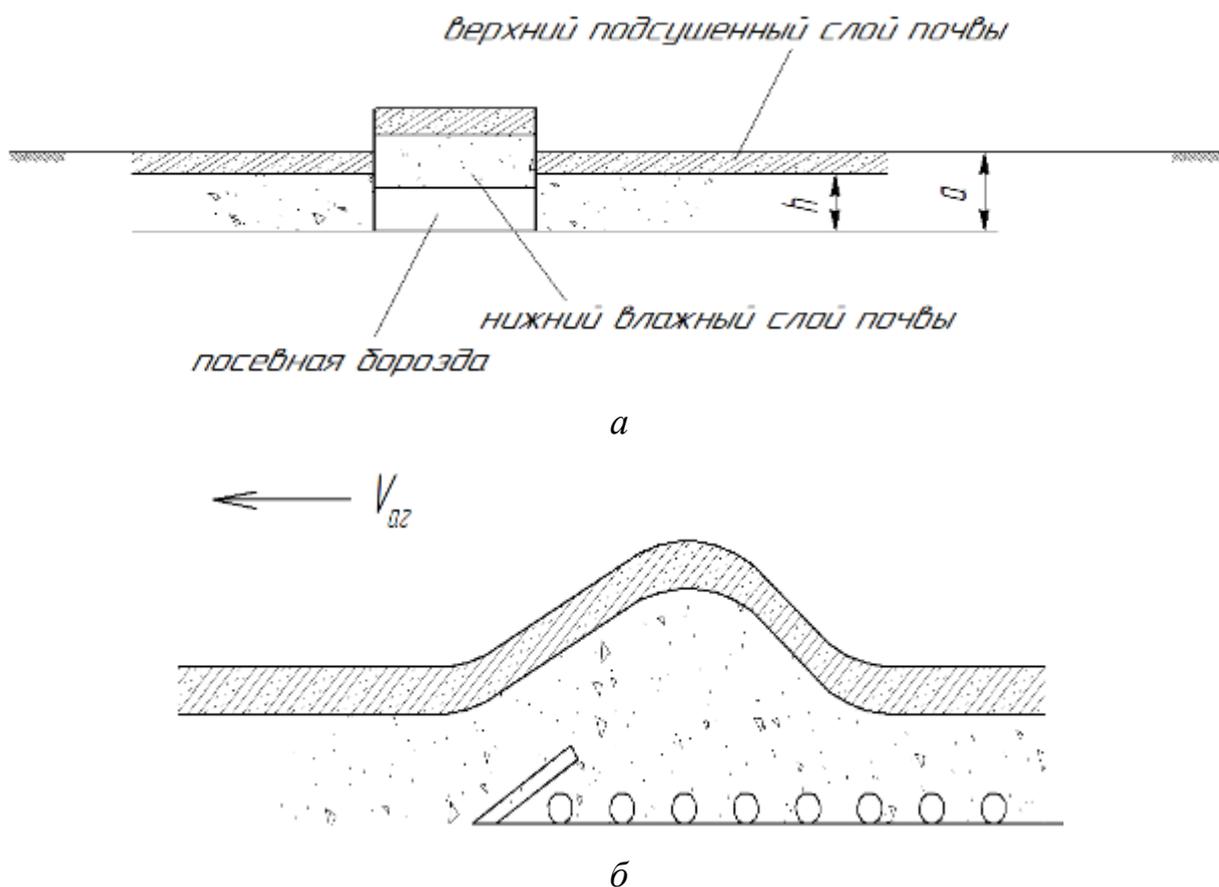


Рисунок 2.2 – Схема работы сошника [25]

Таким образом, разработанные способ и устройство для посева семян заменяют необходимость и целесообразность челночного перемещения верхнего подсушенного слоя почвы в горизонтальной плоскости, образования почвенных валиков из влажного слоя почвы при нарезке посевной борозды и обратного перемещения их в посевную борозду на выполнение лишь одной операции – вырезания слоя почвы на заданной глубине посева семян и его подъёма над дном посевной борозды, а заделка посевной борозды с размещёнными на дне посевной борозды семенами производится в результате свободного опускания поднятого вырезанного

слоя почвы под действием собственной силы тяжести без перемешивания почвенных слоёв, то есть заделка семян осуществляется влажным слоем почвы, что обеспечивает их всхожесть и развитие в соответствии с предъявляемыми требованиями [25].

## 2.2 Математическая модель взаимодействия сошника с почвой

Нами разработана расчетная схема сошника с приложением действующих сил (рисунок 2.3).

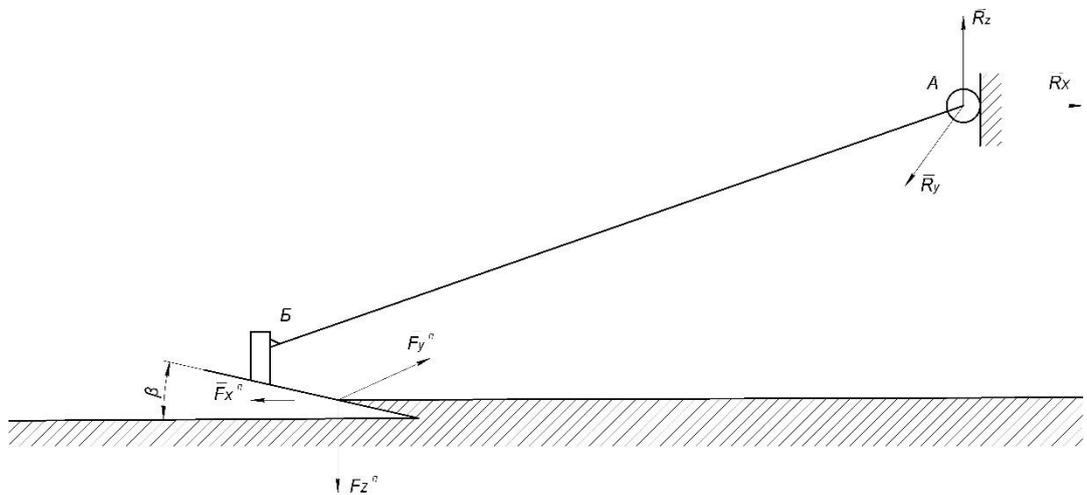


Рисунок 2.3 - Расчетная схема сошника

При движении сошника со скоростью  $V$  вдоль направления оси координат  $X$  уравнение движения имеет вид:

$$ma_x = F_T - F_s, \quad (2.1),$$

где  $m$ - масса сошника и почвы, кг;

$a_x$ - ускорение поступательного движения,  $m/c^2$ ;

$F_T$ = тяговое усилие, Н;

$F_s$ = сила сопротивления почвы, Н.

Сила сопротивления почвы как вязкой среды определяется по формуле:

$$F_s = \zeta \rho V^2 \Omega / 2; \quad (2.2),$$

где  $\zeta$  - коэффициент сопротивления конструкции сошника;

$\rho$  - плотность почвы, кг/м<sup>3</sup>,

$\Omega$  - площадь поперечного сечения сошника, м<sup>2</sup>;

$V$  - скорость, м/с.

Поскольку масса почвы  $\Delta m$ , забранного в сошник за время наблюдения  $\Delta t$  можно оценить из соотношения:

$$m = \rho \Omega V \Delta t \quad (2.3),$$

то из соотношения (2.2) с учётом выражения (2.3) получим:

$$F_s = \frac{0.5 \zeta m V}{t} \quad (2.4).$$

Если же рассматривать сопротивление в рамках модели сухого трения, то:

$$F_s = \zeta (m_0 + m) g \quad (2.5),$$

где  $g$  - ускорение свободного падения м/с<sup>2</sup>.

Очевидно, что при постоянстве скорости движения сошника силу реакции в шарнире будет определять во многом количество массы почвы в сошнике.

Сила реакции в шарнире  $R$  в направлении равномерного движения сошника будет в силу закона равенства силы действия и противодействия определяться соотношением:

$$F_{Rev5x} = -F_{Cylx} \quad (2.6),$$

Кроме того, необходимо учесть, что в направлении  $Z$  в силу того факта, что сила тяги приложена под некоторым очень малым углом  $\varphi$  к горизонту реакция в шарнирах будет определяться из соотношений:

$$\begin{aligned} F_{Rev5z} &= -F_{Rev5x} \operatorname{tg}(\varphi) \\ F_{Cylz} &= -F_{Cylx} \operatorname{tg}(\varphi) \end{aligned} \quad (2.7),$$

Поэтому в этом направлении величина реакции будет значительно меньше, чем в направлении движения в зависимости от величины угла  $\varphi$ . В направлении  $Y$  реакции возникают в силу слабых колебаний в шарнире и неровности рельефа.

При движении сошника массой  $m_0$  для элементарного изменения массы почвы в сошнике:

$$dm = (\rho\Omega V - \eta m)dt \quad (2.8),$$

где  $\eta$ -доля высыпаемой почвы в единицу времени. Поскольку в сошнике останется только  $m=\rho\Omega L$  ( $L$ -длина сошника), то разделив соотношение (2.7) на это равенство получим после элементарных преобразований дифференциальное соотношение:

$$\frac{dm}{m} = (\alpha - \beta m)dt \quad (2.9),$$

где  $\alpha = V/L$ ;  $\beta = \eta/\rho\Omega L$ .

Дифференциальное уравнение (2.8) имеет аналитическое решение при условии, что в начальный момент времени масса почвы в сошнике практически равнялась нулю. Тогда для массы сошника с почвой получим соотношение:

$$\Delta m = \frac{m_0 \exp(\alpha t)}{1 + \chi m_0 (\exp(\alpha t) - 1)} \quad (2.10),$$

где  $\chi = \beta/\alpha$ . После подстановки (2.10) в (2.4) получаем соотношение для реакции в шарнире  $S_{yl}$ :

$$F_{C_{ylx}} = F_s = 0.5\zeta \frac{m_0 \exp(\alpha t)}{1 + \chi m_0 (\exp(\alpha t) - 1)} V / t \quad (2.11).$$

При выключении двигателя тяги масса грунта в сошнике практически изменяться не будет, при этом движение станет равнозамедленным под действием силы вязкого трения почвы:

$$m \frac{dV}{dt} = F_s = -\zeta V \quad (2.12).$$

Дифференциальное уравнение (2.12) имеет аналитическое решение, в результате для силы реакции после выключения двигателя в момент времени  $t_k$ :

$$F_{C_{ylx}} = 0.5m_s V \exp(-\zeta(t - t_k)/m) / t \quad (2.13).$$

В результате силу сопротивления движению сошника можно

определить приближенно по формуле:

$$F_{\text{Cylx}} = \begin{cases} 0.5\zeta \frac{m_0 \exp(at)}{1 + \chi m_0 (\exp(at) - 1)} V \\ t \\ 0.5m_s \frac{V \exp(-\zeta(t - t_k)/m)}{t}, t > t_k \end{cases} \quad (2.14).$$

Для более точного определения сил сопротивления почвы, действующих на сошник при его движении, используем метод динамики частиц. Лесная почва в модели представляется как совокупность множества шарообразных элементов, движущихся по законам классической механики и взаимодействующих между собой и с рабочими поверхностями сошника упруго-вязкими силами.

В этом случае движение сошника в почве описывается следующими уравнениями, составленными на основе второго закона Ньютона:

$$\begin{cases} m_i \frac{d^2 x_i}{dt^2} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N_{\text{Э}}} \left\{ c_{ij} (d_{\text{Э}} - r_{ij}) \frac{(x_i - x_j)}{r_{ij}} + k_{ij} (r_{ij} - d_{\text{Э}}) (v_{xi} - v_{xj}), r_{ij} < d_{\text{Э}} + \Delta d_B; \right. \\ \left. 0, r_{ij} \geq d_{\text{Э}} + \Delta d_B; \right\} + \sum_{k=1}^{N_{\text{П}}} F_{xik}^{\text{П}}; \\ m_i \frac{d^2 y_i}{dt^2} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N_{\text{Э}}} \left\{ c_{ij} (d_{\text{Э}} - r_{ij}) \frac{(y_i - y_j)}{r_{ij}} + k_{ij} (r_{ij} - d_{\text{Э}}) (v_{yi} - v_{yj}), r_{ij} < d_{\text{Э}} + \Delta d_B; \right. \\ \left. 0, r_{ij} \geq d_{\text{Э}} + \Delta d_B; \right\} + \sum_{k=1}^{N_{\text{П}}} F_{yik}^{\text{П}}; \\ m_i \frac{d^2 z_i}{dt^2} = -m_i g + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N_{\text{Э}}} \left\{ c_{ij} (d_{\text{Э}} - r_{ij}) \frac{(z_i - z_j)}{r_{ij}} + k_{ij} (r_{ij} - d_{\text{Э}}) (v_{zi} - v_{zj}), r_{ij} < d_{\text{Э}} + \Delta d_B; \right. \\ \left. 0, r_{ij} \geq d_{\text{Э}} + \Delta d_B; \right\} + \sum_{k=1}^{N_{\text{П}}} F_{zik}^{\text{П}}, \end{cases} \quad (2.15)$$

где  $m_i$  – масса элемента, г;

$t$  – модельное время, с;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$i$  – порядковый номер элемента;

$N_{\text{Э}}$  – общее количество элементов в моделируемой системе;

$j$  – порядковый номер элемента, для которого проверяется контакт с  $i$ -м элементом;

$c_{ij}$  и  $d_{ij}$  – коэффициенты жесткости и линейной вязкости;

$d_B$  – предельное расстояние взаимодействия соседних элементов;

$k$  – индекс элементарной поверхности механизма, взаимодействующей с элементами сред;

$N_{\Pi}$  – общее количество элементарных поверхностей механизма;  
 $F_{xik}^{\Pi}$ ,  $F_{yik}^{\Pi}$ ,  $F_{zik}^{\Pi}$  – декартовы составляющие силы, действующей со стороны  $k$ -й элементарной поверхности на  $i$ -й элемент.

Сошник в модели представлен как совокупность 11 элементарных поверхностей (рисунок 2.4).

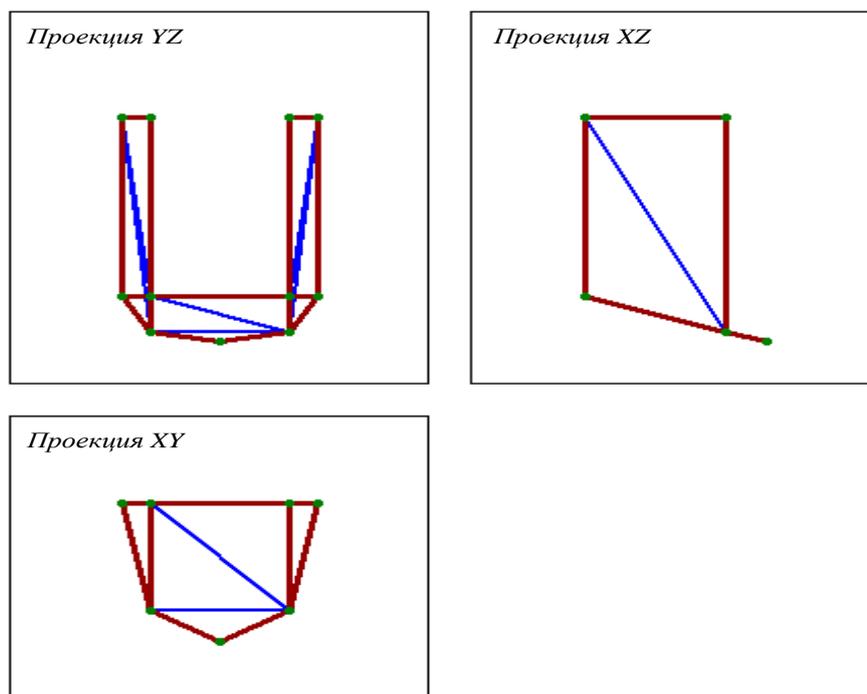


Рисунок 2.4 – Представление в модели сошника лесной сеялки для питомников как совокупности элементарных треугольных поверхностей (три проекции)

При движении сошника вдоль направления оси координат  $X$  уравнение поступательного движения с учетом метода динамики частиц будет иметь вид:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = F_T - \sum_{j=1}^{N_{\Sigma}} F_{xik}^{\Pi} \quad (2.16)$$

### 2.3 Компьютерная программа для моделирования движения в почве сошника лесной сеялки для питомников

Для имитационного моделирования специально разработана компьютерная программа «Программа для моделирования движения в почве сошника лесной сеялки для питомников». Программа разработана на языке программирования ObjectPascal в среде разработки BorlandDelphi 7 (рисунок 2.5).

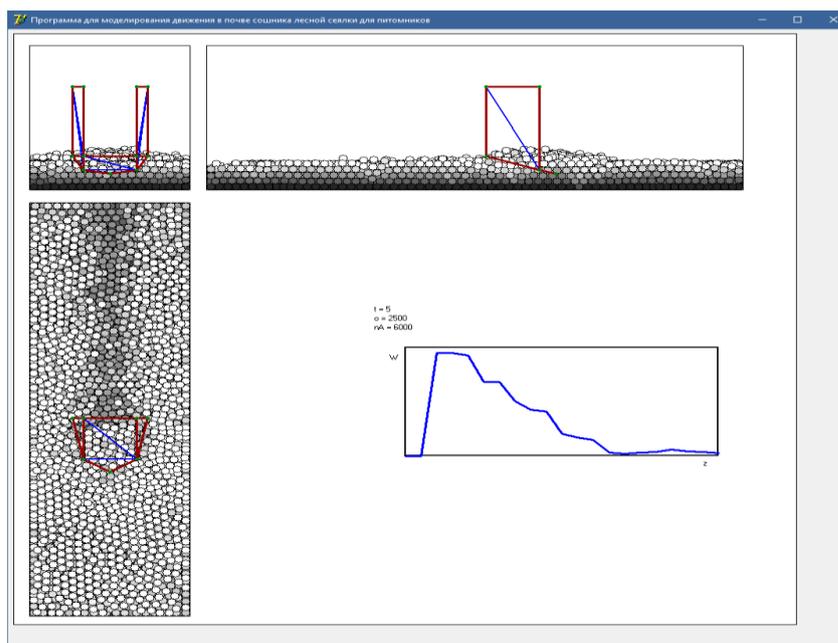


Рисунок 2.5 – Изображение, выводимое на экран разработанной программой: три проекции сошника лесной сеялки и участка почвы; график зависимости влажности почвы от высоты

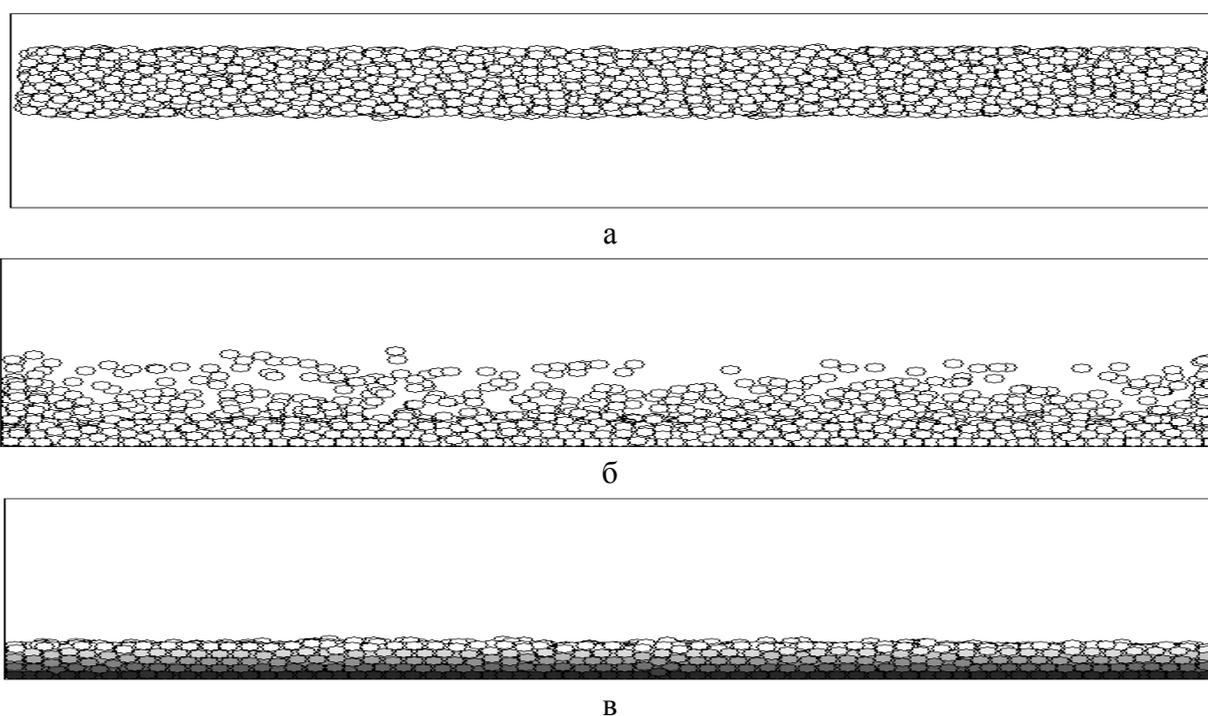
Программа предназначена для исследования характера движения почвы при взаимодействии сошника лесной сеялки для питомников.

Функциональные возможности. В тексте программы могут быть заданы геометрические и физические параметры сошника, почвы и условия проведения компьютерного эксперимента. Программа выводит на экран три проекции сошника и участка почвы, график зависимости влажности почвы от вертикальной координаты.

Программа применима для исследования движения сошника сеялки с

различными параметрами в почвах различных типов (рисунок 2.6).

Так как имитационное моделирование с помощью разработанной программы основано на интенсивных вычислениях и хранении большого количестве информации, для комфортной работы с программой необходим компьютер с тактовой частотой процессора не менее 2,3 ГГц и объемом оперативной памяти не менее 2 Гбайт. Программа предназначена для использования в операционной системе Windows 10. Объем исходного кода программы составляет 26 кбайт.



*а* – начальное положение элементов почвы над дном модельного объема; *б* – оседание элементов почвы под действием сил тяжести и формирование случайной плотной упаковки; *в* – модель почвы, подготовленная (оттенки серого цвета отражают влажность почвы)

Рисунок 2.6 – Представление в модели лесной почвы, как совокупности шарообразных элементов, взаимодействующих между собой упруго-вязкими силами (проекция XZ)

В процессе работы программы просчитывается взаимодействие элементов почвы как с участками плоскостей, ограниченных

треугольниками, так и с ребрами и вершинами треугольников.

Сошник в модели движется поступательно в направлении оси  $Ox$  на заданной глубине хода сошника  $a_c$  заданным углом вхождения в почву  $\beta$ . Взаимодействие элементов почвы между собой и с сошником приводит к формированию физически-адекватного характера движения почвы и позволяет исследовать влияние параметров сошника на показатели его эффективности.

Изображены проекции параллелепипеда с размерами  $L_x, L_y, L_z$ , в котором производится моделирование.

Разработанная модель по своей сути является не аналитической, а алгоритмической: так как показатели эффективности невозможно рассчитать по формулам явным образом, они рассчитываются с помощью итерационного алгоритма. Схема алгоритма представлена на рисунке 2.7.

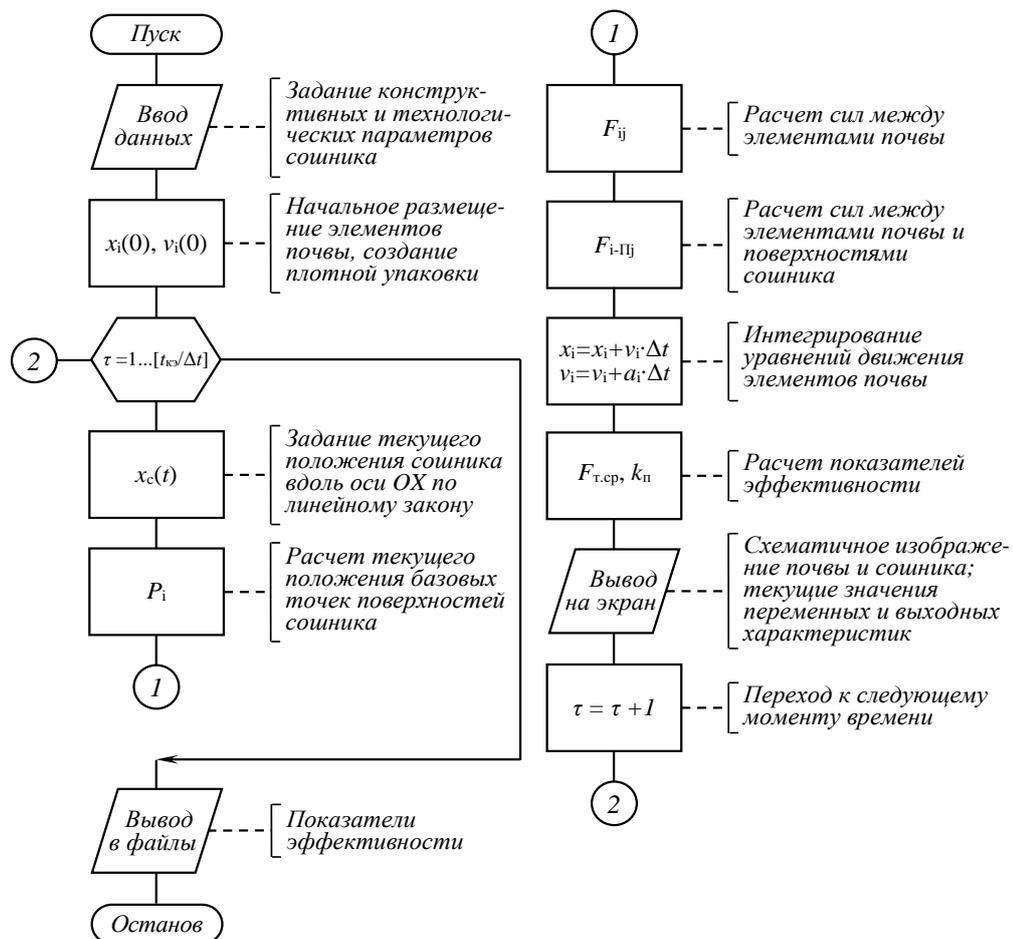


Рисунок 2.7– Схема алгоритма моделирования работы сошника лесной

## сеялки для питомников

На схеме алгоритма добавлены обозначения:  $t_{кэ}$  – длительность компьютерного эксперимента;  $[t_{кэ}/\Delta t]$  – номер последнего шага интегрирования по времени; квадратные скобки означают округление до целого числа.

В разработанной программе могут быть заданы различные конструктивные параметры сошника. При задании угла  $\beta$  вхождения в почву сошника рабочие поверхности ориентируются в пространстве и стыкуются между собой соответствующим образом (рисунок 2.8).

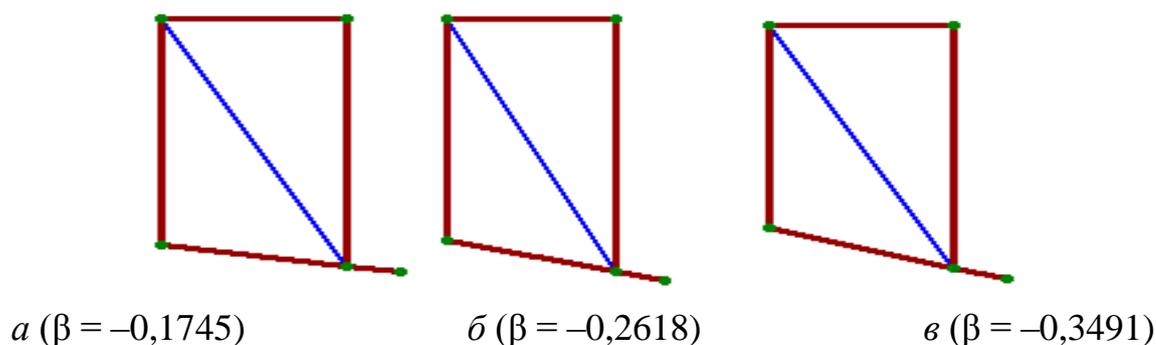


Рисунок 2.8 – Сошник в модели при различных углах вхождения в почву  $\beta$  (проекция XZ)

Программа с достаточным уровнем физической адекватности воспроизводит различный характер движения почвы в зависимости от угла вхождения сошника в почву (рисунки 2.14, 2.15).

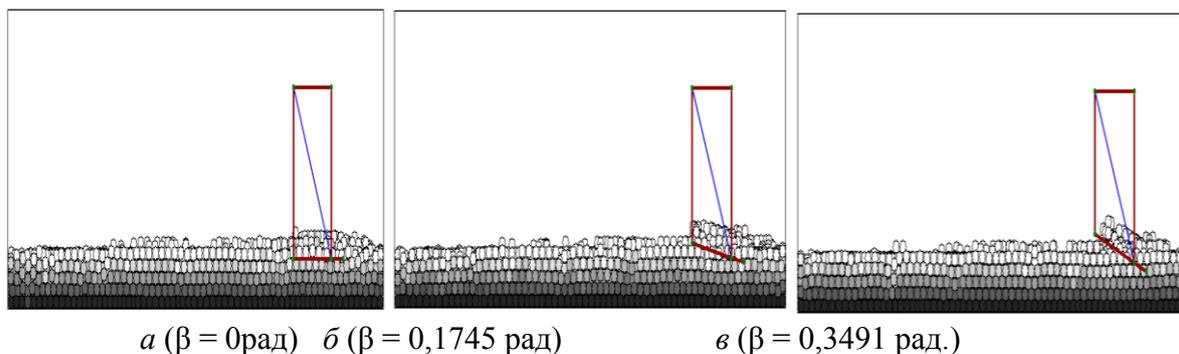


Рисунок 2.9 – Характер обработки почвы при различном угле

## ВХОЖДЕНИЯ

сошника в почву  $\beta$ : проекции XZ

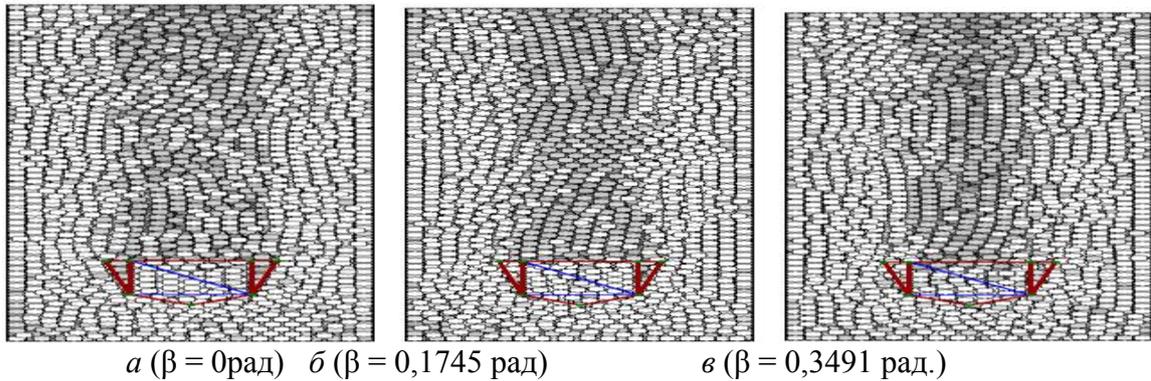


Рисунок 2.10 – Характер обработки почвы при различном угле вхождения сошника в почву  $\beta$ : проекции XY

Разработанная программа позволяет также задавать различную глубину хода сошника. При касании сошника поверхности почвы ( $a_c = 0$  м) сошник практически не образует борозду и не вызывает движение почвы (рисунки 2.11, 2.12). При увеличении глубины хода сошника борозда становится все глубже, однако начиная с некоторой глубины,  $a_c$  увеличивается неблагоприятное перемешивание слоев почвы. Поэтому с помощью разработанной программы определена оптимальная глубина хода около 0,02 м или менее.

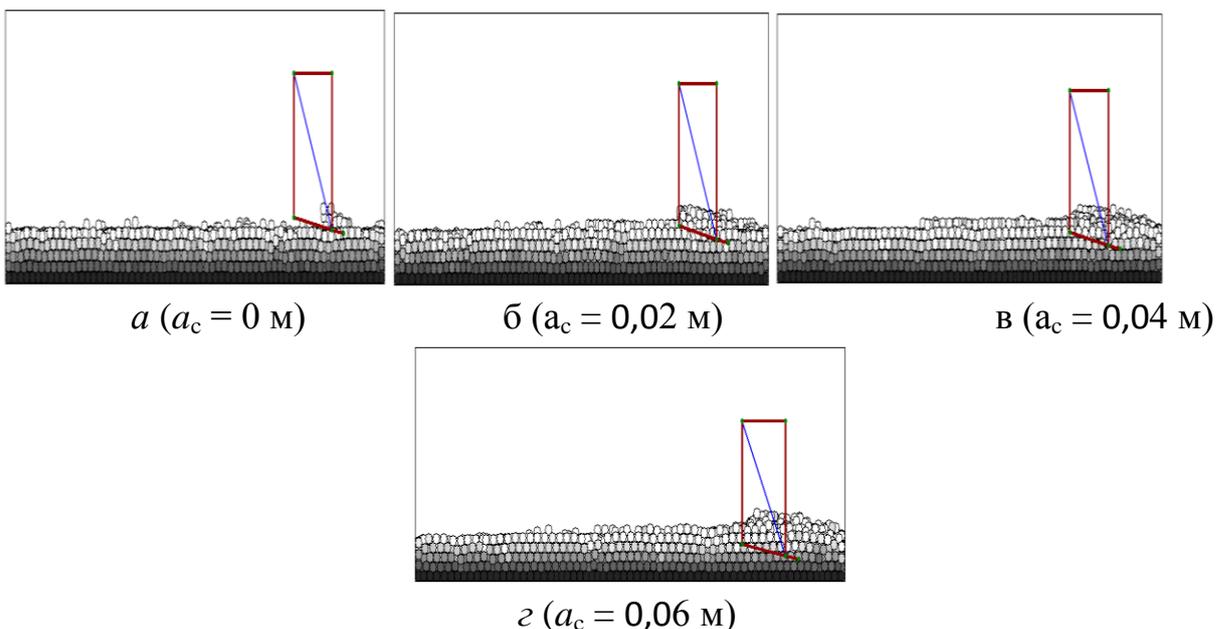


Рисунок 2.11 – Характер обработки почвы при различной глубине хода

сошника  $a_c$ : проекции XZ

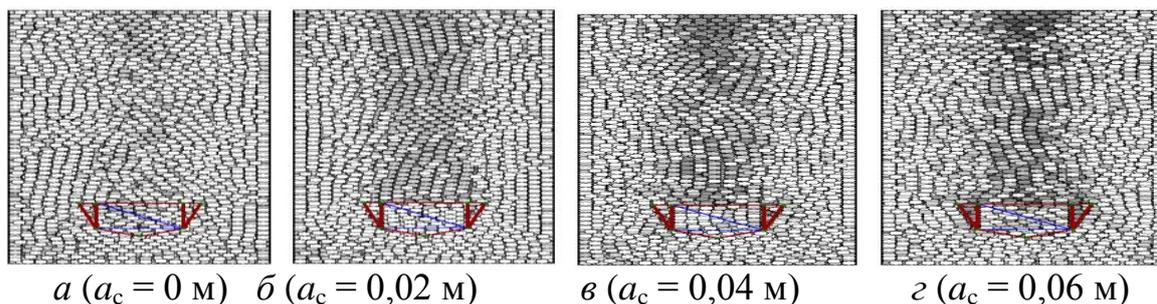


Рисунок 2.12 – Характер обработки почвы при различной глубине хода сошника  $a_c$ : проекции XY

Таким образом, разработана компьютерная программа для моделирования движения в почве сошника лесной сеялки для питомников, учитывающая физические свойства почвы, конструктивные и технологические параметры сошника. Программа позволяет рассчитать показатели эффективности сошника в различных режимах работы и оптимизировать его конструктивные параметры.

## 2.4 Исследование качества заделки семян сошником на основе моделирования методом динамики частиц

### 2.4.1 Исследование влияния параметров сошника на показатели качества заделки семян

Разработанная модель позволяет варьировать основные конструктивные параметры сошника лесопитомниковой сеялки (рисунок 2.13):

где  $a_c$  – глубина хода сошника, м;

$\beta$  – угол вхождения сошника в почву, град.;

$l_c$  – длина скобы сошника в продольном направлении, м;

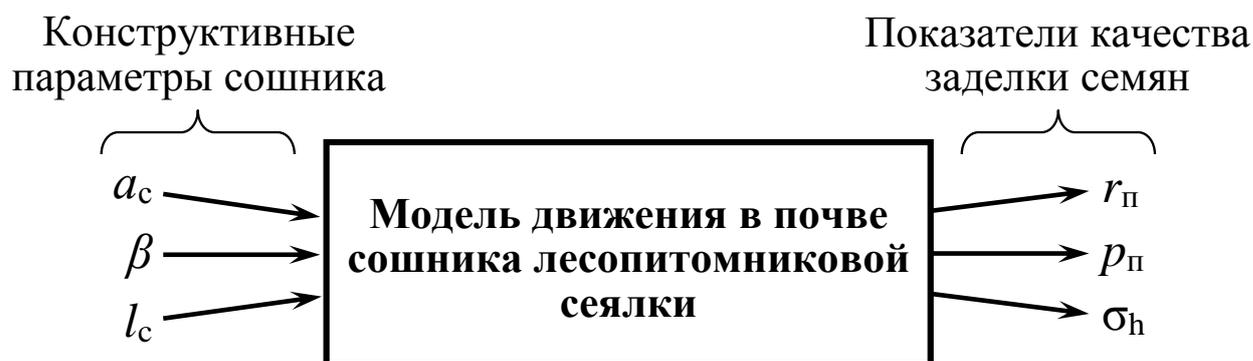


Рисунок 2.13 – Входные параметры и показатели эффективности разработанной математической модели

Качество заделки семян сошником целесообразно характеризовать следующими показателями:

$r_{п}$  – степень перемешивания пласта;

$p_{п}$  – степень пропускания пласта;

$\sigma_h$  – разброс высоты пласта.

Перечисленные показатели определяются по формулам:

$$r_{п} = \frac{\sum_{i=1}^{N_3} \begin{cases} 1, & \begin{cases} z_i(t_k) > z_{p2}; \\ z_i(t_h) < z_{p1}; \end{cases} \\ 0, & \begin{cases} z_i(t_k) \leq z_{p2}; \\ z_i(t_h) \geq z_{p1}; \end{cases} \end{cases}}{\sum_{i=1}^{N_3} \begin{cases} 1, & z_i(t_h) < z_{p1}; \\ 0, & z_i(t_h) \geq z_{p1}; \end{cases}} \quad (2.17)$$

$$p_{п} = \frac{\sum_{i=1}^{N_3} \begin{cases} 1, & \begin{cases} |y_i(t_k) - y_c| < b_c; \\ z_i(t_k) > z_{п}; \end{cases} \\ 0, & \begin{cases} |y_i(t_k) - y_c| \geq b_c; \\ z_i(t_k) \leq z_{п}; \end{cases} \end{cases}}{\sum_{i=1}^{N_3} \begin{cases} 1, & \begin{cases} |y_i(t_h) - y_c| < b_c; \\ z_i(t_h) > z_{п}; \end{cases} \\ 0, & \begin{cases} |y_i(t_h) - y_c| \geq b_c; \\ z_i(t_h) \leq z_{п}; \end{cases} \end{cases}} \quad (2.18)$$

$$\sigma_h = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_h} (h_i - h_{cp})^2}{n_h}}, \quad (2.19)$$

где  $N_3$  – номер элемента почвы;

$y_i, z_i$  – поперечная к направлению движения сошника и вертикальная декартовы координаты элемента;

$t_n$  и  $t_k$  – моменты времени начала и конца компьютерного эксперимента, с;

$z_{p1}$  и  $z_{p2}$  – высота, разделяющая пласт пополам (одинаковое количество элементов выше и ниже данного уровня) соответственно до взаимодействия с сошником и после взаимодействия с сошником, м;

$y_c$  – поперечная координата геометрического центра сошника, м;

$b_c$  – ширина скобы сошника, м;

$z_n$  – уровень высоты, отделяющий элементы пласта от находящихся ниже элементов, м;

$n_h$  – количество замеров высоты пласта (замеры производились в поперечных срезах толщиной 0,1 м);

$h_i$  – значение высоты пласта, определенное в  $i$ -м замере;

$h_{cp}$  – средняя высота пласта, м.

#### 2.4.1.1 Влияние глубины хода сошника

От глубины хода сошника  $a_c$  зависит высота вырезаемого пласта и характер фрагментации пласта. Для изучения влияния  $a_c$  провели серию из пяти компьютерных экспериментов, в которых варьировали данный параметр на уровнях 0,005 0,010 0,015 0,020 0,025 м.

При слишком малой глубине хода сошника (0,005 м) не формируется достаточно сплошной пласт, из-за чего велика степень перемешивания пласта (более 15 %, рисунок 2.14, а), пласт пропускается не только над, но и под ножом сошника из-за чего понижена степень пропуска пласта до 81 % (рисунок 2.14, б), велик разброс высоты пласта (2,9 мм, рисунок 2.14, в).

При слишком большой глубине хода сошника (0,020 ... 0,025 м) степень перемешивания пласта достаточно низка (6 ... 7 %), однако слишком низка степень пропуска пласта (74 ... 86 %) из-за сгуживания почвы перед сошником и слишком высокая неоднородность высоты пласта (4,6 ... 7,3 мм).

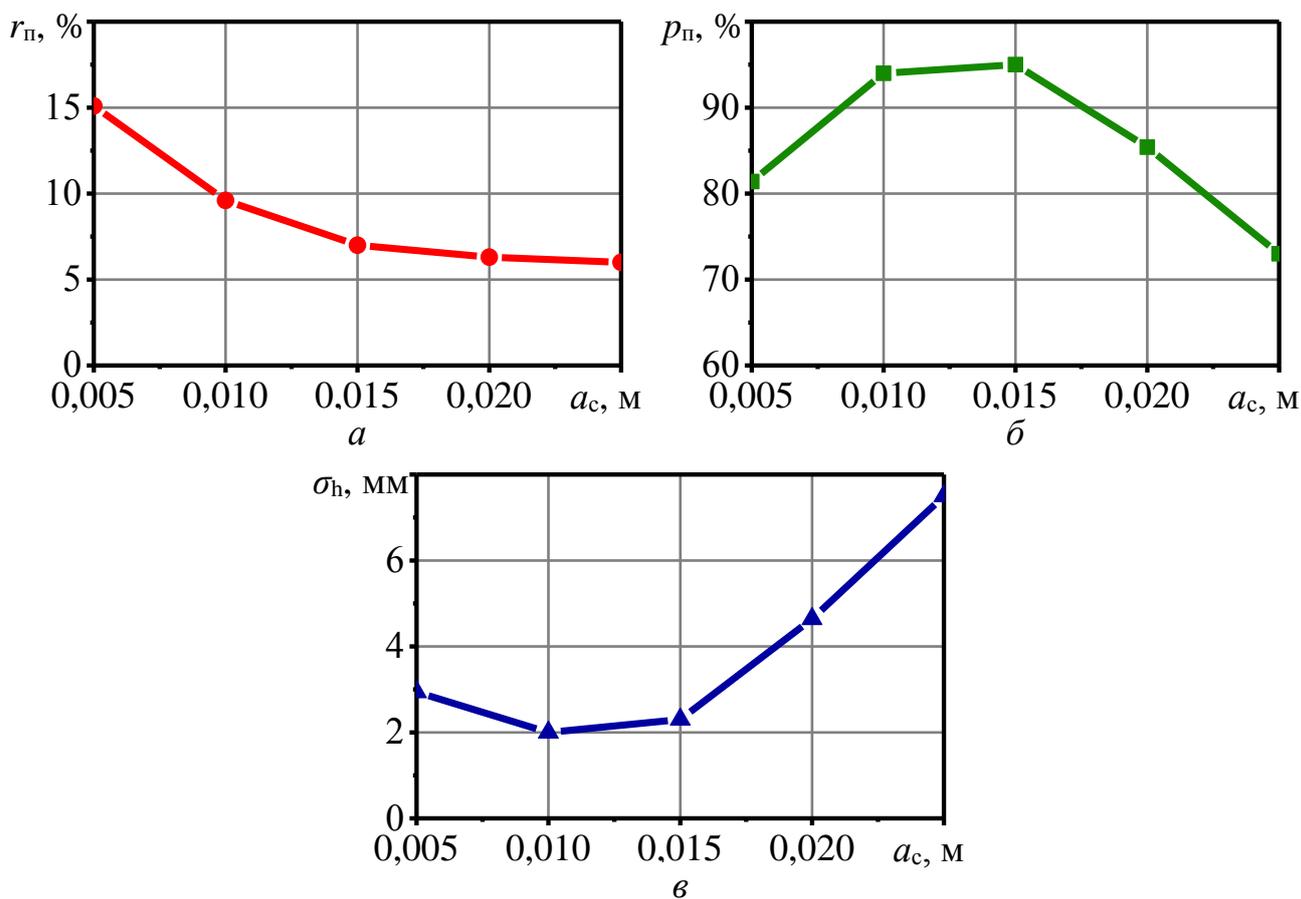


Рисунок 2.14 – Влияние глубины хода сошника  $a_c$  на степень перемешивания пласта  $r_{п}$  ( $a$ ), степень пропускания пласта  $p_{п}$  ( $b$ ) и разброс высоты пласта  $\sigma_h$  ( $b$ )

Оптимальная глубина хода сошника составляет 0,010 ... 0,015 м, при этом достаточно низка степень перемешивания (7,2 ... 9,5 %), достаточно высока степень пропускания пласта (94 ... 95 %) и достаточно мал разброс высоты пласта (2,0 ... 2,2 мм).

#### 2.4.1.2 Влияние угла вхождения сошника в почву

От угла  $\beta$  вхождения сошника в почву зависит характер процессов вертикального отделения и продольного смещения пласта. Для изучения влияния угла  $\beta$  на показатели качества заделки семян провели серию из пяти компьютерных экспериментов, в которых  $\beta$  увеличивали от 0 до 20° с шагом 5°. Обнаружено, что оптимальный угол вхождения составляет около 10°. При этом обеспечивается минимальная степень перемешивания около 8 %

(рисунок 2.15, *a*), максимальная степень пропускания пласта 89 % (рисунок 2.15, *б*) и наилучшая однородность высоты пласта (разброс составляет около 2 мм, рисунок 2.16, *в*).

При слишком малом угле вхождения сошника ( $0 \dots 5^\circ$ ) слишком малы вертикальные силы, благодаря которым пласт движется по верхней части ножа сошника с достаточно низким трением. При слишком большом угле вхождения сошника ( $15 \dots 20^\circ$ ) наблюдается эффект сгуживания почвы: пласт преимущественно сдвигает почву в продольном направлении и ухудшается упорядоченное движение пласта внутри сошника.

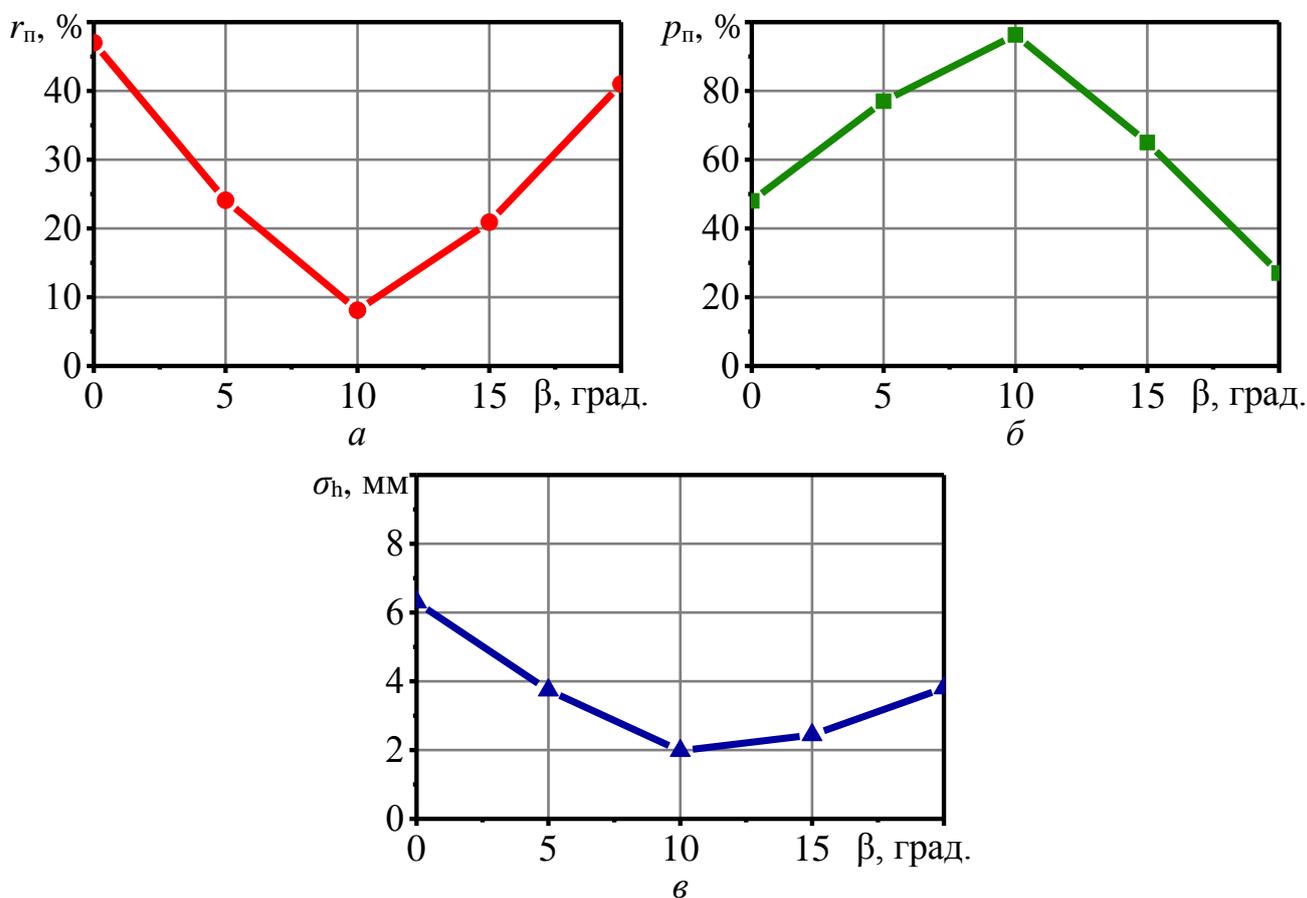


Рисунок 2.15 – Влияние угла вхождения сошника в почву  $\beta$  на степень перемешивания пласта  $r_{п}$  (*a*), степень пропускания пласта  $p_{п}$  (*б*) и разброс высоты пласта  $\sigma_h$  (*в*)

#### 2.4.1.3 Влияние длины скобы сошника

Длина скобы  $l_c$  одной стороны определяет направляющий эффект, обеспечивающий формирование пласта заданного сечения, с другой стороны, определяет трение, препятствующее упорядоченному движению пласта. С целью изучения влияния  $l_c$  проведена серия из пяти компьютерных экспериментов, в которых варьировали длину  $l_c$  на уровнях 0,04, 0,08, 0,12, 0,16, 0,20 м.

Судя по полученным зависимостям (рисунок 2.16), оптимальная длина сошника составляет 0,08 ... 0,12 м. При этом обеспечивается степень перемешивания пласта не более 9 %, степень пропускания пласта не менее 94 %, разброс высоты пласта не более 2,0 мм.

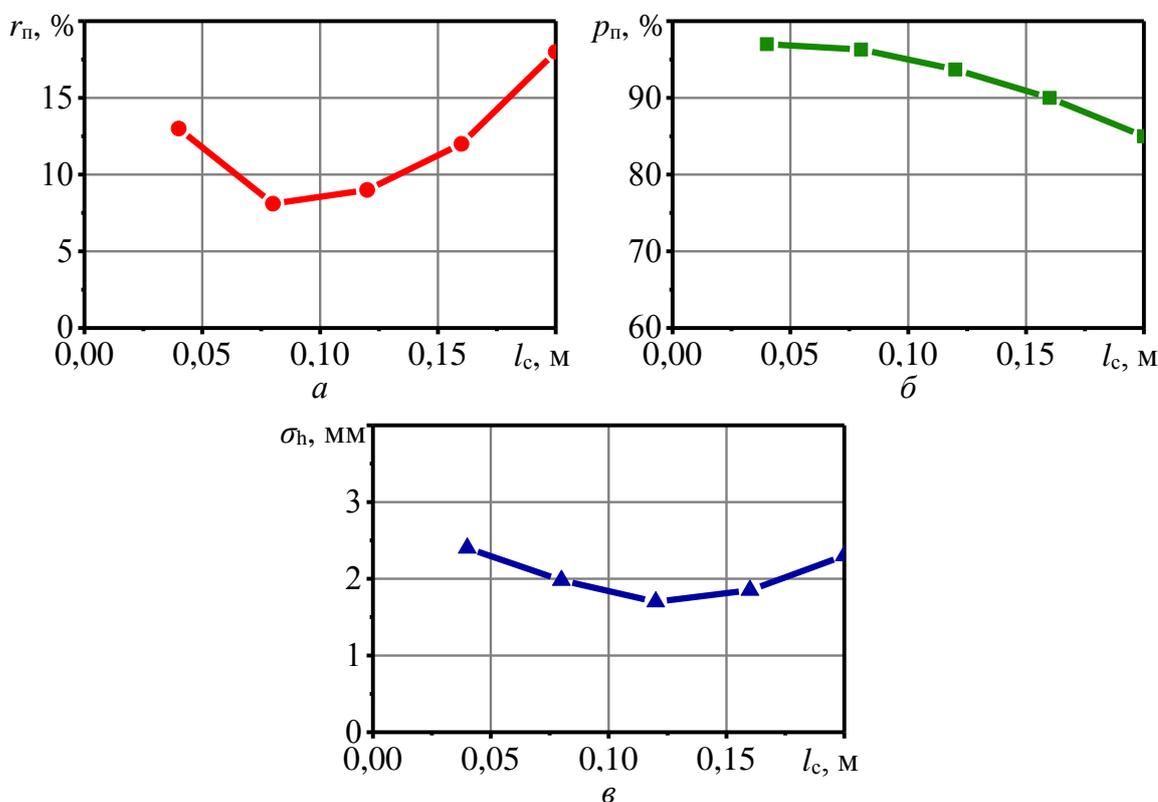


Рисунок 2.16 – Влияние длины скобы сошника в продольном направлении  $l_c$  по ходу движения сошника на степень перемешивания пласта  $r_n$  (а), степень пропускания пласта  $p_n$  (б) и разброс высоты пласта  $\sigma_h$  (в)

При слишком малой длине скобы сошника (0,04 м) не формируется

пласт заданного сечения, и происходит рыхление верхнего слоя почвы, из-за чего слишком велика степень перемешивания пласта и разброс высоты пласта. При слишком большой длине скобы сошника (0,16 ... 0,20) движение пласта также нарушается по причине высокой силы трения. Из-за этого наблюдается резкий рост степени перемешивания и снижение степени пропуска пласта (сгуживание).

Таким образом, исследовано влияние основных конструктивных параметров сошника и определены их оптимальные диапазоны.

#### 2.4.2 Оптимизация параметров сошника лесопитомниковой сеялки

Для изучения одновременного влияния конструктивных параметров сошника на показатели качества заделки семян провели двухфакторную оптимизацию параметров. Из конструктивных параметров выбраны глубина хода сошника  $a_c$  и угол вхождения в почву  $\beta$ . При этом в качестве критериев оптимизации выбраны степень перемешивания пласта  $r_{\text{п}}$ , степень пропуска пласта между боковинами сошника  $p_{\text{п}}$ , разброс высоты пласта  $\sigma_h$ . Тогда задачу двухфакторной оптимизации записать аналитически следующим образом:

$$\begin{cases} r_{\text{п}}(a_c, \beta) \rightarrow \min; \\ p_{\text{п}}(a_c, \beta) \rightarrow \max; \Rightarrow a_c^{\text{опт}}, \beta^{\text{опт}}, \\ \sigma_h(a_c, \beta) \rightarrow \min; \end{cases} \quad (2.19)$$

где  $a_c^{\text{опт}}$  и  $\beta^{\text{опт}}$  – оптимальные значения глубины хода сошника и угла вхождения в почву.

Решение задачи оптимизации заключается в поиске такой области изменения факторов  $a_c$  и  $\beta$ , в которой одновременно будут минимальными степень перемешивания пласта  $r_{\text{п}}$  и разброс высоты пласта  $\sigma_h$ , и максимальным будет степень пропуска пласта  $p_{\text{п}}$ .

Для решения двухфакторной задачи оптимизации провели девять

компьютерных экспериментов, в которых изменяли  $a_c$  на уровнях 0,0050, 0,0125, 0,0200 м при одновременном изменении  $\beta$  на уровнях  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ . Результаты девяти оптимизационных экспериментов приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты расчета показателей качества заделки семян сошником лесопитомниковой сеялки

№ комп. эксп.	Конструктивные параметры сошника		Показатели качества заделки семян		
	Глубина хода сошника $a_c$ , м	Угол вхождения сошника в почву $\beta$ , градусы	Степень перемешивания пласта $r_{п}$ , %	Степень пропуска пласта $p_{п}$ , %	Разброс высоты пласта $\sigma_h$ , мм
1	0,0050	5	31,8	55,0	2,91
2	0,0050	10	15,1	81,4	2,94
3	0,0050	15	48,4	45,9	4,66
4	0,0125	5	24,1	77,0	3,74
5	0,0125	10	8,1	96,3	1,98
6	0,0125	15	20,9	55,1	2,44
7	0,0200	5	16,7	67,6	3,90
8	0,0200	10	<b>6,3</b>	85,4	4,64
9	0,0200	15	21,0	74,0	5,07

Примечание 1: жирным шрифтом выделены оптимальные значения показателей качества заделки и конструктивных параметров.

На основе результатов оптимизационной серии компьютерных экспериментов построены аналитические формулы для функций  $r_{п}(a_c, \beta)$ ,  $p_{п}(a_c, \beta)$ ,  $\sigma_h(a_c, \beta)$ . Для этого функции аппроксимировали полиномами второго порядка:

$$K(a_c, \beta) = k_1 a_c^2 + k_2 \beta^2 + k_3 a_c \cdot \beta + k_4 a_c + k_5 \beta + k_6, \quad (2.20)$$

где  $K$  – критерий оптимизации ( $r_{\text{п}}$ ,  $p_{\text{п}}$  или  $\sigma_{\text{h}}$ );

$k_1 \dots k_6$  – параметры полинома.

Параметры полиномов определены методом наименьших квадратов (МНК), в рамках которого минимизируется сумма квадратов отклонений аналитической зависимости от результатов компьютерного эксперимента:

$$\sum_{i=1}^{N_{\text{КЭ}}} \left( K_{\text{аналит.}}(a_c^i, \beta^i) - K_{\text{КЭ}}^i(a_c^i, \beta^i) \right)^2 \rightarrow \min, \quad (2.21)$$

где  $i$  и  $N_{\text{КЭ}}$  – порядковый номер и общее количество компьютерных экспериментов (в данном случае девять);

$K_{\text{аналит.}}$  – искомая аналитическая (полиномиальная) зависимость критерия  $K$  от факторов  $a_c$  и  $\beta$ ;

$K_{\text{КЭ}}^i$  – значения критерия  $K$ , определенные в  $i$ -м компьютерном эксперименте с параметрами  $a_c^i$  и  $\beta^i$ .

Для аппроксимация методом МНК использовали математическую программу MathCAD 14. В результате аппроксимации получены следующие аналитические формулы для показателей качества заделки семян сошником:

$$r_{\text{п}}(a_c, \beta) = 9,807 \cdot 10^4 a_c^2 + 0,693 \beta^2 - 82,0 a_c \cdot \beta - 2772 a_c - 12,238 \beta + 88,846, \quad (2.22)$$

$$p_{\text{п}}(a_c, \beta) = -1,407 \cdot 10^5 a_c^2 - 1,011 \beta^2 + 103,3 a_c \cdot \beta + 3479 a_c - 18,102 \beta - 21,38 \quad (2.23)$$

$$\sigma_{\text{h}}(a_c, \beta) = 2,311 \cdot 10^4 a_c^2 + 0,024 \beta^2 - 3,867 a_c \cdot \beta - 470,2 a_c - 0,378 \beta + 6,447, \quad (2.24)$$

где  $r_{\text{п}}$  и  $p_{\text{п}}$  измеряются процентах,

$\sigma_{\text{h}}$  – в миллиметрах,

$a_c$  – в метрах,

$\beta$  – в градусах.

Полученные формулы могут использоваться для быстрой оценки (без выполнения реальных или компьютерных экспериментов) показателей качества заделки семян сошником по известным показаниям глубины хода сошника и углу вхождения в почву.

Первичный анализ функций  $r_{\text{п}}(a_c, \beta)$ ,  $p_{\text{п}}(a_c, \beta)$ ,  $\sigma_{\text{h}}(a_c, \beta)$  может быть выполнен по графикам (рисунок 2.17) и картограммам (рисунок 2.18).

Графики позволяют визуально оценить основные тенденции влияния конструктивных параметров сошника на показатели качества заделки семян. Судя по положению точек экстремума поверхности второго порядка на всех трех графиках искомые минимумы или максимум находятся внутри выбранной области факторного пространства.

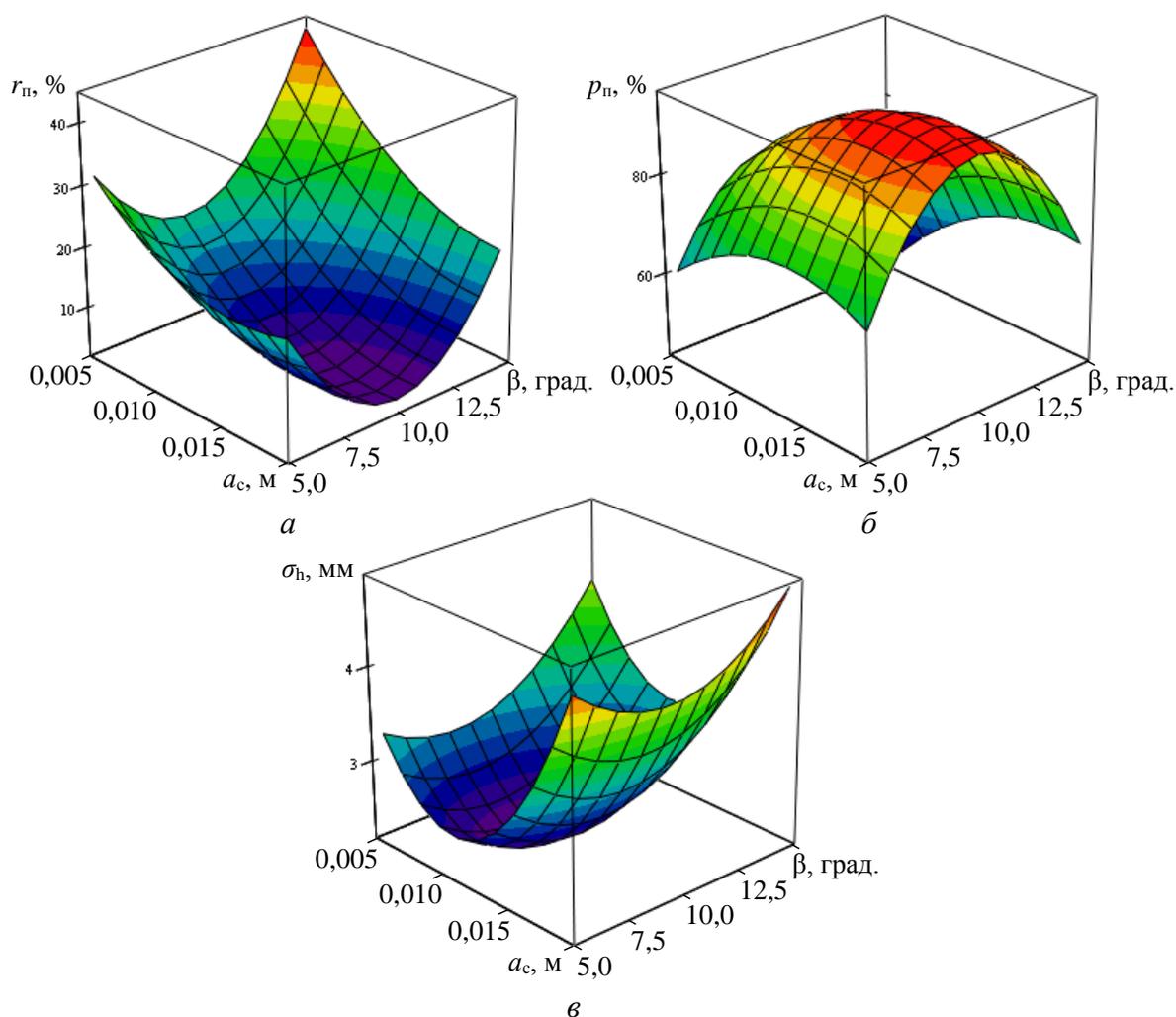


Рисунок 2.17 – Графики влияния глубины хода сошника  $a_c$  и угла вхождения сошника в почву  $\beta$  на степень перемешивания пласта  $\gamma_p$  (а), степень пропускания пласта  $\rho_p$  (б) и разброс высоты пласта  $\sigma_h$  (в)

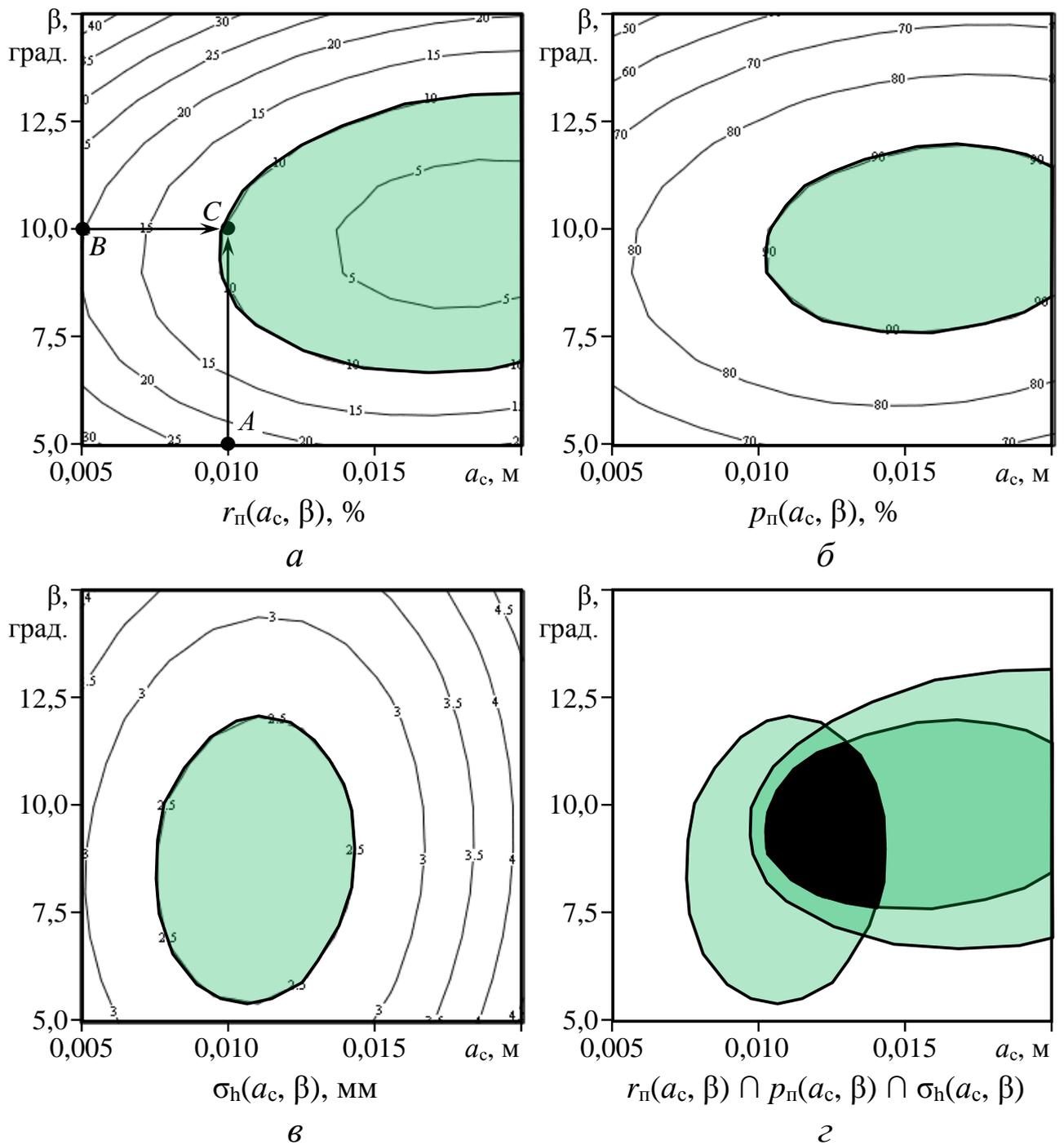


Рисунок 2.18 – Картограммы оптимизации параметров сошника: зависимости степени перемешивания пласта  $r_{\text{п}}$  (а), степени пропускания пласта  $p_{\text{п}}$  (б), разброса высоты пласта  $\sigma_h$  (в) от глубины хода сошника  $a_c$  и углавхождения сошника в почву  $\beta$

Картограммы позволяют количественно определить значения

показателей качества заделки семян графоаналитическим способом. Пример использования картограмм показан точками и стрелками на рисунке 2.23, *а*. При глубине хода сошника 0,010 м (точка *A*) и угле вхождения сошника в почву  $10^\circ$  (точка *B*) степень перемешивания пласта можно определить по положению точки *C*. Точка попадает практически на линию уровня  $r_{\text{п}} = 10\%$ , поэтому искомое значение степени перемешивания составляет около 10 %.

На каждой из трех картограмм можно выделить благоприятную область факторного пространства, обеспечивающую наилучшие (минимальные или максимальное) значения соответствующего критерия. Так на картограмме  $r_{\text{п}}(a_{\text{с}}, \beta)$  линия уровня  $r_{\text{п}} = 10\%$  разграничивает благоприятную и неблагоприятную области (рисунок 2.18, *а*). Благоприятная область факторного пространства расположена в диапазоне высоких значений глубины хода сошника и в диапазоне средних (около  $10^\circ$ ) значений угла вхождения сошника  $\beta$ .  $c_1$  и почти не зависит от параметра  $L_{01}$ .

В качестве линий уровня, разграничивающих благоприятную и неблагоприятную область для остальных двух критериев выбраны: 90 % для степени пропускания пласта (рисунок 2.18, *б*); 2,5 мм для величины разброса высоты пласта (рисунок 2.18, *в*).

Пересечение благоприятных областей всех трех рассматриваемых критериев качества заделки семян позволяет найти общую оптимальную область, в которой все критерии имеют одновременно минимальные или максимальные значения (рисунок 2.18, *г*). По расположению оптимальной области в факторном пространстве можно сделать вывод, что оптимальная с точки зрения обеспечения качества заделки семян глубина хода сошника составляет 0,011 ... 0,014 м, оптимальный угол вхождения сошника составляет  $8 \dots 11^\circ$ . При этом обеспечивается степень перемешивания пласта менее 10 %, степень пропускания пласта более 90 %, разброс высоты пласта менее 2,5 мм.

## 2.5 Разработка 3D модели сошника, учитывающая его геометрические и массовые характеристики

С помощью программы для автоматизированного проектирования Solidworks разработаем 3D модель сошника, учитывающую его геометрические и массовые характеристики – рисунок 2.19

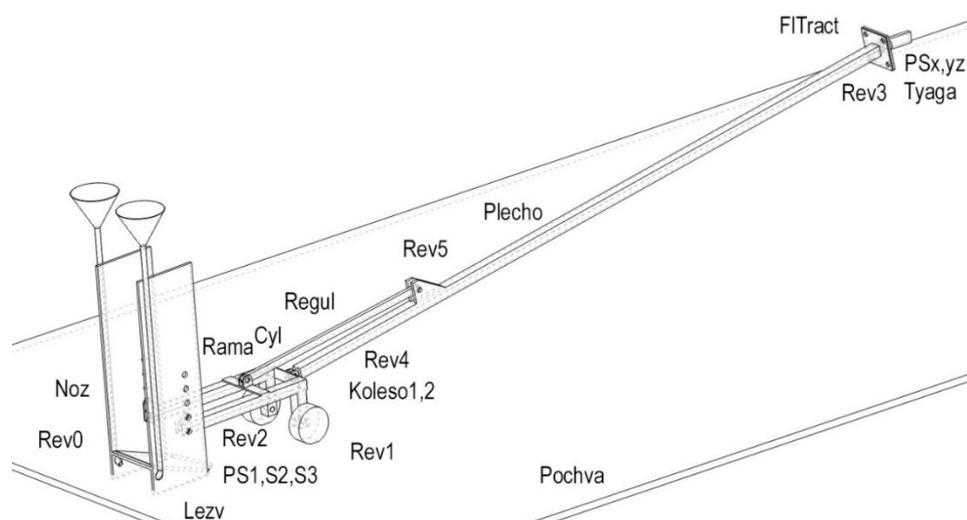


Рисунок 2.19 - Общий вид трехмерная модель сошника

Для создания имитационной модели сошника в начале мировой системы координат (МСК)  $(0, 0, 0)$  расположим объект Pochva (подключённый к МСК через порт F3) описывающий ровный слой почвы относительно которого движется трактор с сошником. Через порты F, F1 и кинематические пары Planar1,2 подключим к почве два колеса – Koleso 1,2. Оба колеса соединим вращательными кинематическими парами Rev1,2 с рамой – Rama. К раме в свою очередь через порты F4-F1 присоединим вертикальные стенки ножа и предусмотрим возможность поворота лезвия относительно стоек с помощью кинематической пары Rev0, а саму величину зададим численным значением - Ang1. Создадим на конце лезвия порт F2 как показано на рисунок 2.20.

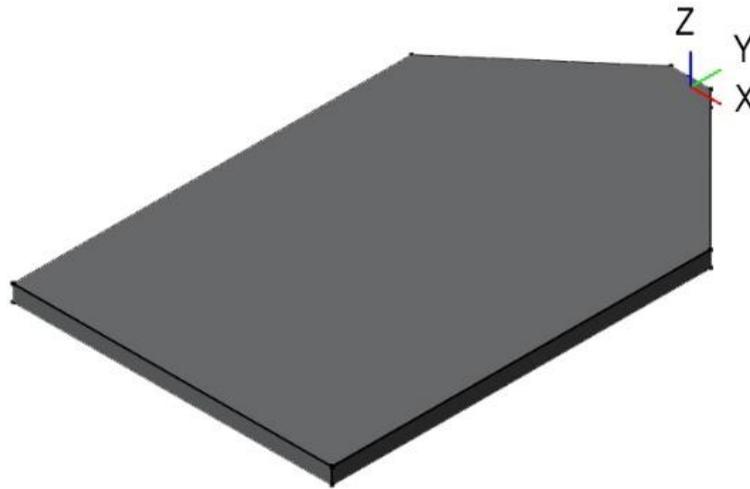


Рисунок 2.20 - Расположения точки приложения реакций от почвы

Приложим к этому порту полученные путём имитационного моделирования реакции от контакта с почвой. Безразмерные реакции зададим с помощью конструкторов сигнала (рисунок 2.21), а для преобразования в физический параметр (Ньютоны) используем PS конвертеры, встроенные в Simulink (PS1,2,3).

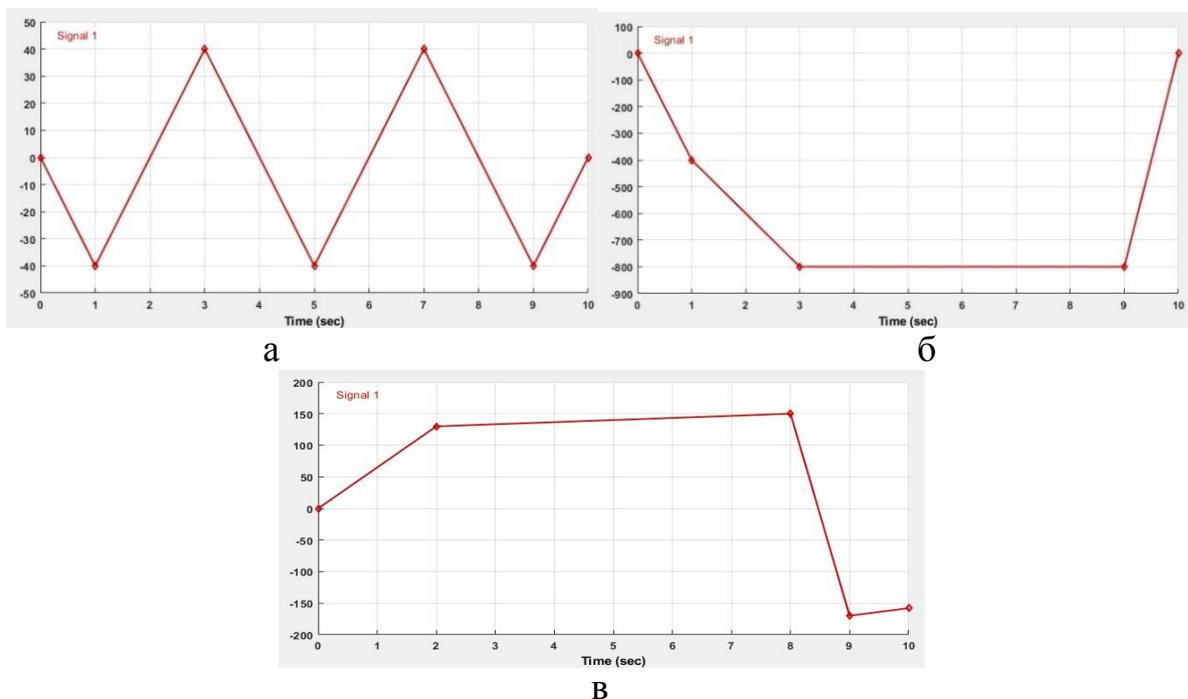


Рисунок 2.21 - Реакции от действия почвы на нож а-  $R_x$ , б -  $R_y$  в -  $R_z$ ,

Таким образом за возмущающие воздействия поперек движения установим  $-40\dots+40$  Н. Сопротивление движению в начальный момент времени 0 Н, при установившемся движении 800Н, и при окончании движения 0 Н. Сопротивление перемещению по глубине установим  $150\dots-150$  Н. К раме с помощью кинематической пары  $Cy1$  присоединим звено, регулирующее её наклон относительно плеча  $Regul$ . Возникающие при движении реакции в кинематической паре получим с помощью виртуального осциллографа  $R_{cy1}$  (рисунок 2.22).

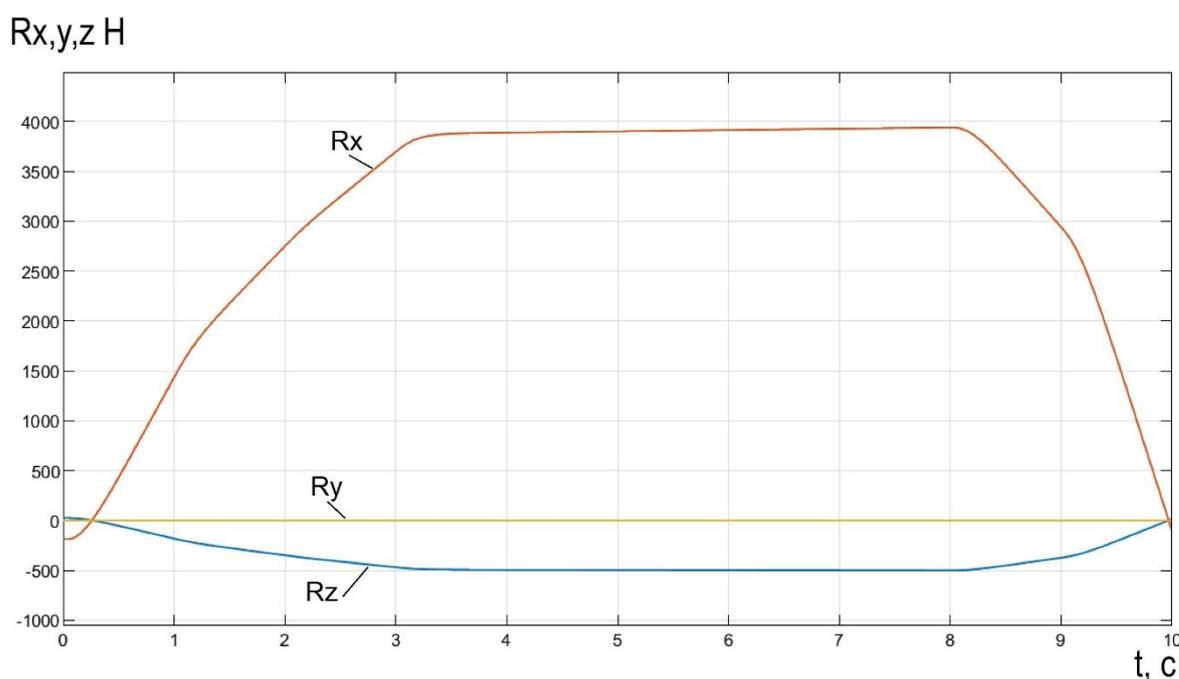


Рисунок 2.22 - Реакции в шарнире  $Cy1R_xR_yR_z$

Таким образом наибольшую реакцию 4000 Н вызывает движение вперед, заглублиение вызывает реакцию -500 Н, а колебания по поперек движения практически не оказывают влияния. Соединим звено регулятор –  $Regul$  с плечом  $Plecho$  с помощью вращательной кинематической пары  $Rev5$ . Возникающие при движении реакции в кинематической паре получим с помощью виртуального осциллографа  $R_{Rev5}$  (рисунок 2.23).

$R_{x,y,z}$  Н

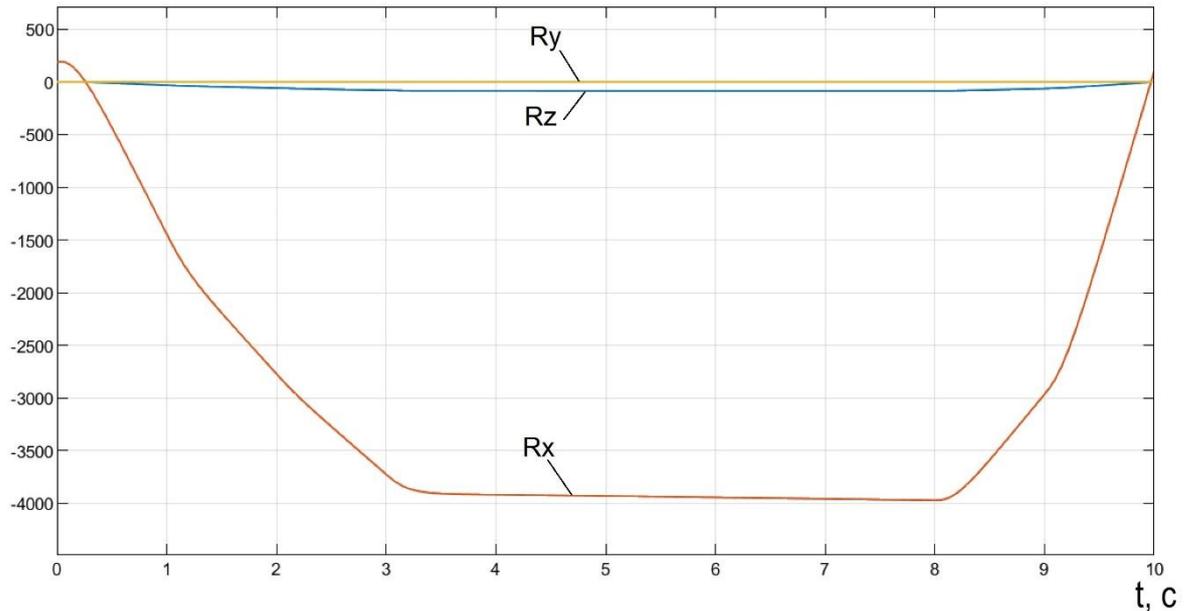
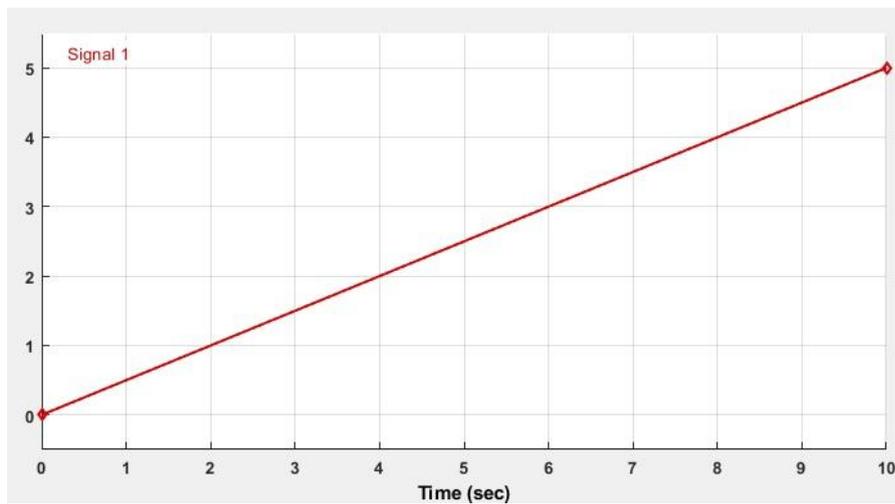


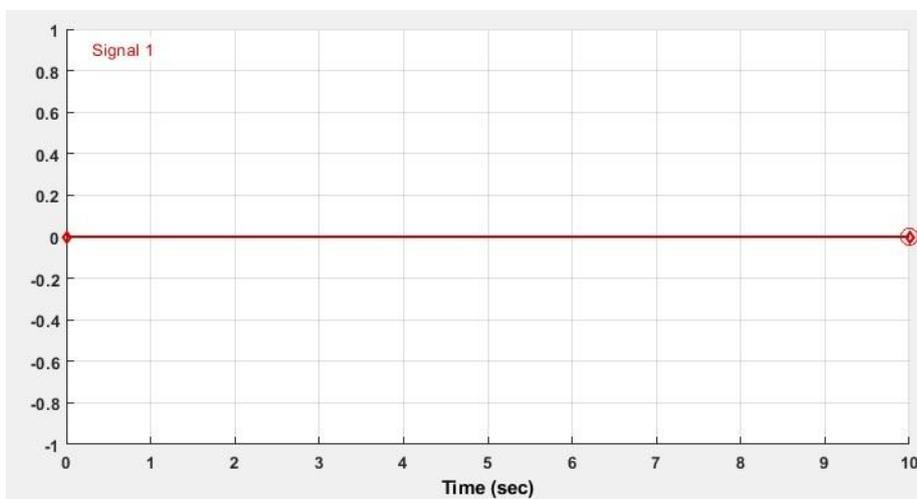
Рисунок 2.23 - Реакции в шарнире RRev5

На графике (рисунок 2.2.3) представлены линии реакции сил по 3 координатам, действующие в шарнире RRev5. Поскольку данный шарнир соединяет регулируемую тягу от рамы с плечом. Действие реакции в данном случае направлено в противоположную сторону, но полностью совпадает по динамическим характеристикам с аналогичной реакцией в шарнире Cy1, расположенным по другую сторону регулируемой тяги. Линия реакции  $R_y$  так же совпадает с аналогичной реакцией в шарнире Cy1. Действие вертикальной реакции  $R_z$  незначительно и никак не влияет на работу агрегата в целом.

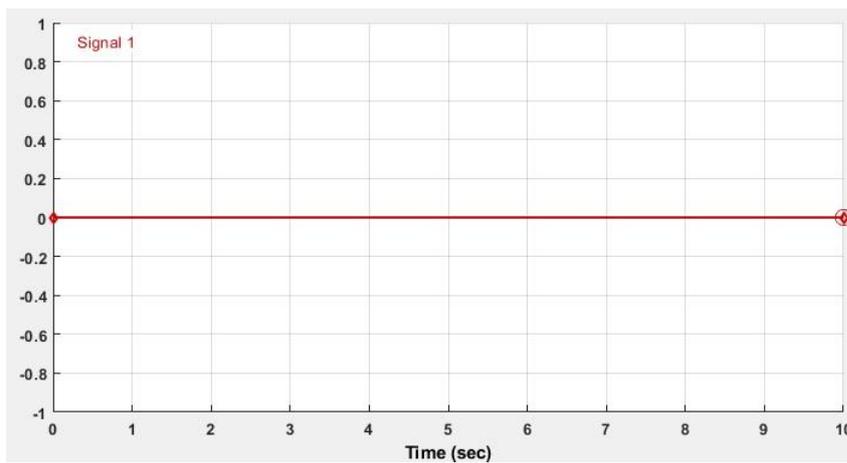
Между почвой (Pochva) и плечом (Plecho) установим угловое значение с помощью Ang2. К плечу с помощью жёсткой заделки прикрепим фланец FlTract. А к фланцу за его шарнир прикрепим тягу Taga. Тягу соединим с почвой с помощью кинематической пары Cartesian имеющей 6 степеней свободы. Зададим тяговое движение по трём осям OX,OY,OZ с помощью конструкторов сигнала  $S_{x,y,z}$ . Сигнал на рисунок 2.2.4 является безразмерной величиной поэтому с помощью PСконвертера встроенного в Simulink преобразуем его в метры.



а



б



в

Рисунок 2.2.4 - Тяговые перемещения навески трактора а- OX б – OY,  
в – OZ

Таким образом, трактор за 10 секунд переместится на 5 метров по оси  $Ox$ , а по двум другим осям на всем протяжении модельного времени его скорость равна нулю.

Реакцию в кинематической паре  $Rev3$  получим с помощью виртуального осциллографа  $RRev3$  (рисунок 2.2.5).

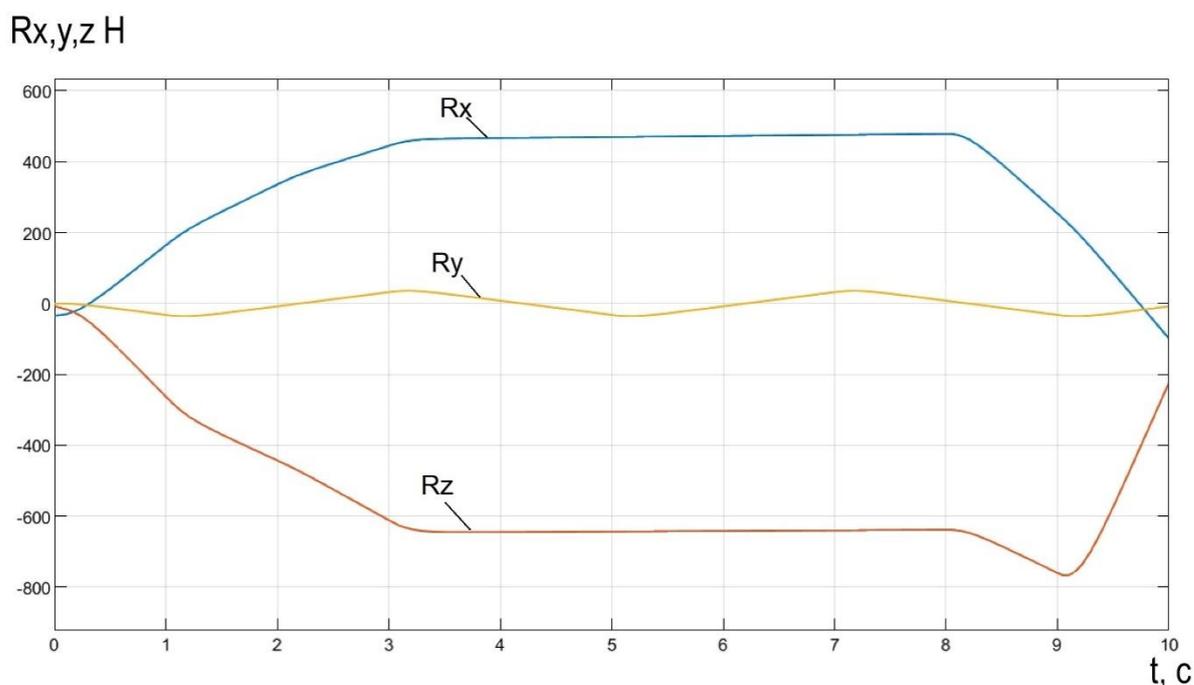


Рисунок 2.25 - Реакции в шарнире  $RRev3$

На рисунке 2.2.5 представлен график реакций по трем основным координатам для шарнира  $RRev3$ , соединяющий плечо с тягой трактора. Максимальное значение отклонений от нуля на данном рисунке не превышает 800 Н, что говорит о небольшой нагрузке на данном шарнире. Из рисунка видно, что в данном шарнире силы реакции действуют не на растяжение, а на сжатие. При начале движения реакция  $R_z$  в процессе плавного заглабления сошника в грунт, на 3 секунде эксперимента остановилось на отметки -650 Н и оставалась на этой отметки до 8 секунды. В процессе остановки происходит незначительное повышение нагрузки до -750 Н, с последующим повышением нагрузки стремящегося к 0 Н. реакция на оси  $R_y$  на всем протяжении эксперимента равномерно колебалась в диапазоне  $\pm 50$  Н. Реакция  $R_x$  в процессе заглабления сошника остановилась

на отметки 450 Н и держалась на данной отметке 5 секунд. При остановке агрегата нагрузка начала резко снижаться с 8 секунды эксперимента и приближаться к 0 Н.

Полученные динамические параметры позволят рассчитать нагрузки в звеньях и оптимально подобрать их геометрические параметры и материал.

Разработанная имитационная модель также позволяет рассчитать и кинематические характеристики движения звеньев, однако для рассматриваемого случая они представляют из себя сравнительно простые траектории. На рисунке 2.2.6 показаны траектории движения лезвия в почве для случая постоянного угла наклона плеча относительно почвы. Ширина канала 0.5 м, ширина лезвия 0,08 м.

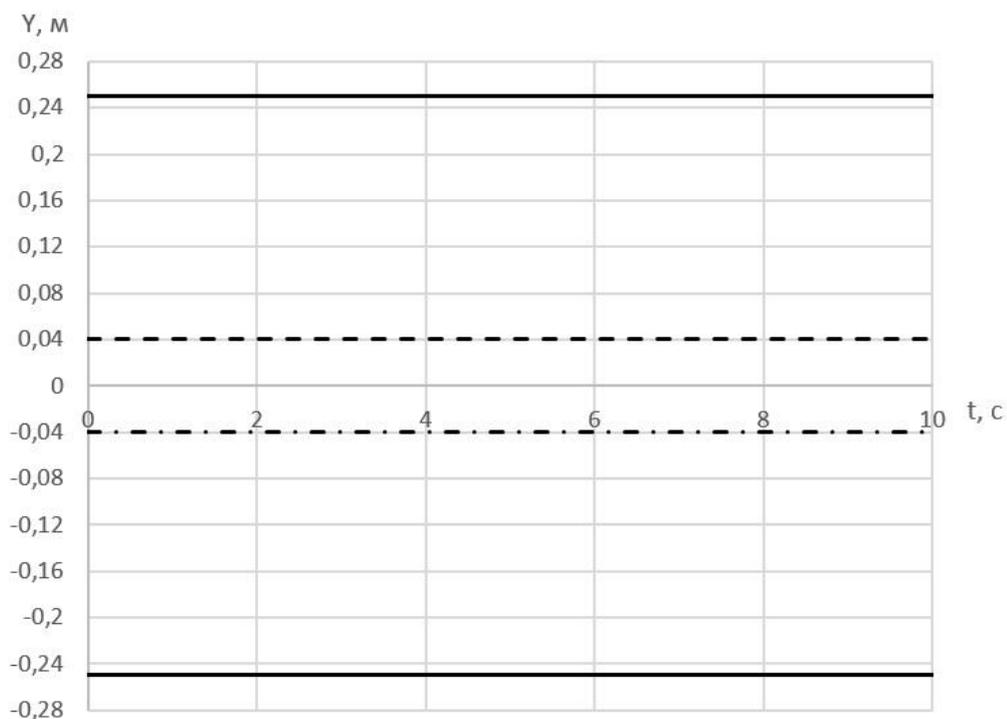


Рисунок 2.26 - Траектория движения лезвия относительно стенок почвенного канала \_\_\_\_\_ - стенки канала, \_ \_ \_ - левая часть лезвия, \_ . \_ . \_ - правая часть лезвия

Общий вид имитационной модели приведён на рисунке 2.27

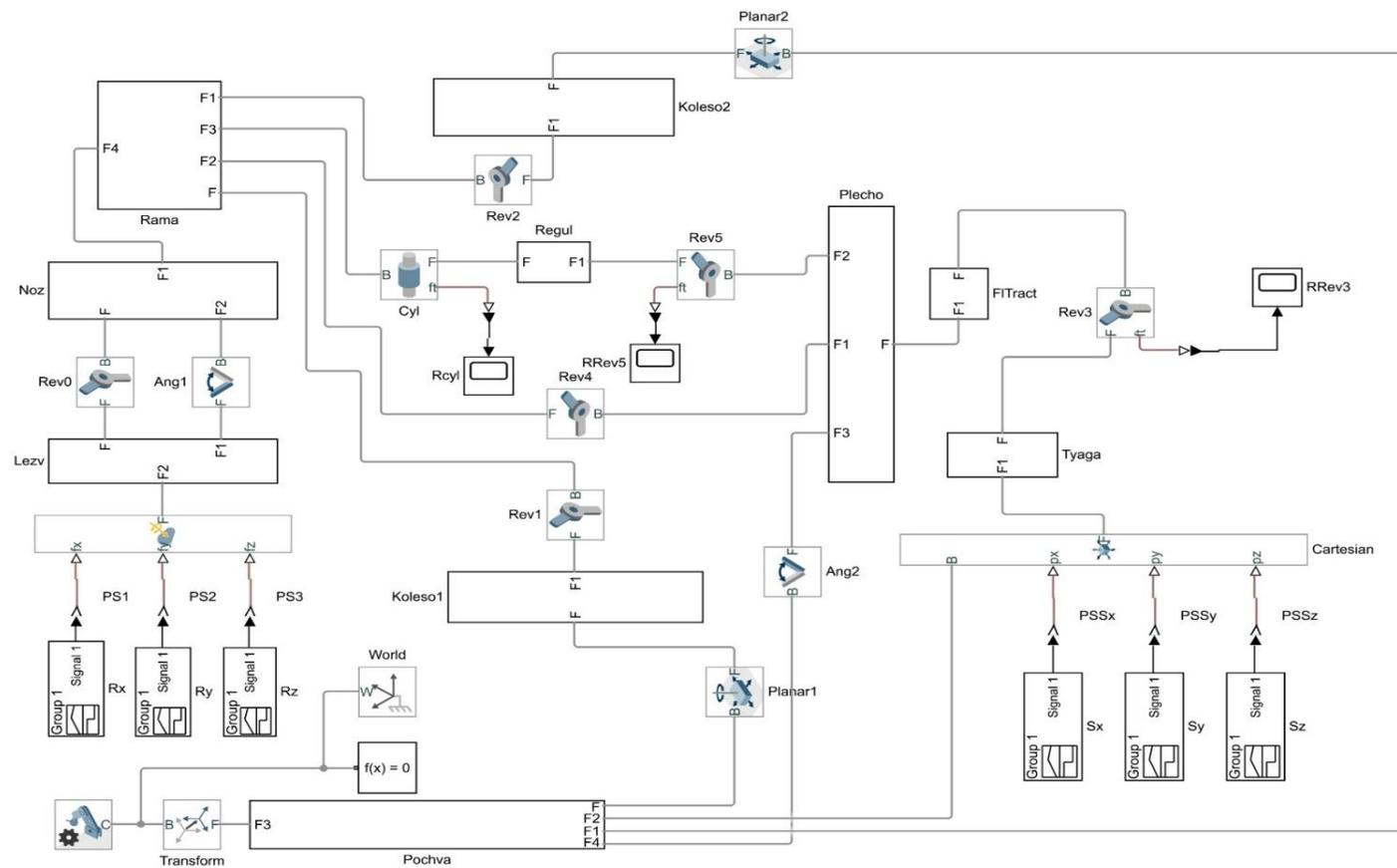


Рисунок 2.27 - Общий вид имитационной модели сошника

## 2.6 Выводы

1. Предлагаемые способ и устройство для посева семян сосны обыкновенной исключают необходимость челночного перемещения верхнего подсушенного слоя почвы в горизонтальной плоскости, а заделка посевной борозды с размещёнными на дне посевной борозды семенами производится в результате свободного опускания поднятого вырезанного слоя почвы под действием собственной силы тяжести без перемешивания почвенных слоёв.

2. Разработана компьютерная программа для моделирования движения в почве сошника лесной сеялки для питомников, учитывающая физические свойства почвы, конструктивные и технологические параметры сошника. Программа позволяет рассчитать показатели эффективности сошника в различных режимах работы и оптимизировать его конструктивные параметры.

3. Оптимальная глубина хода сошника составляет 0,010 ... 0,015 м, при этом достаточно низка степень перемешивания (7,2 ... 9,5 %), достаточно высока степень пропускания пласта (94 ... 95 %) и достаточно мал разброс высоты пласта (2,0 ... 2,2 мм).

4. Оптимальный угол вхождения составляет около  $10^\circ$ . При этом обеспечивается минимальная степень перемешивания около 8 %, максимальная степень пропускания пласта 89 % и наилучшая однородность высоты пласта (разброс составляет около 2 мм).

5. Оптимальная длина сошника составляет 0,08 ... 0,12 м. При этом обеспечивается степень перемешивания пласта не более 9 %, степень пропускания пласта не менее 94 %, разброс высоты пласта не более 2,0 мм.

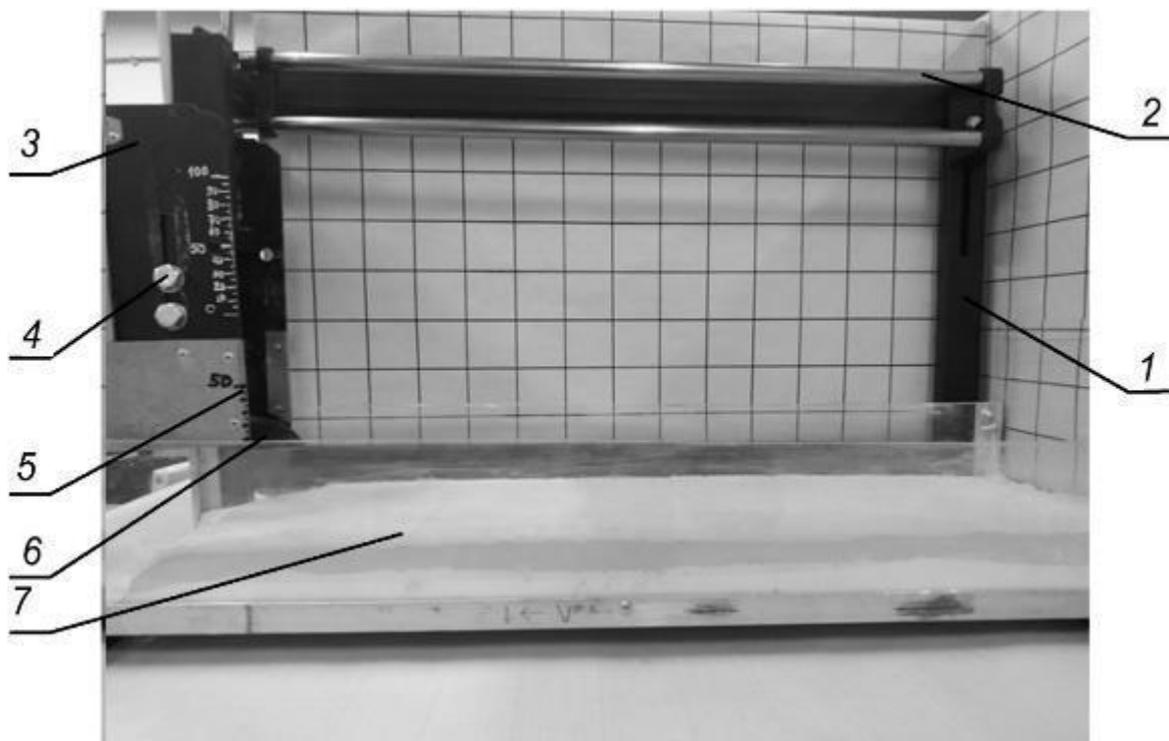
6. По результатам двухфакторной оптимизации наивысшее качество заделки семян обеспечивается при глубине хода сошника 0,011 ... 0,014 м, угле вхождения сошника 8 ...  $11^\circ$ . При этом обеспечивается степень перемешивания пласта менее 10 %, степень пропускания пласта более 90 %, разброс высоты пласта менее 2,5 мм.

7. Разработанная имитационная модель позволяет определить реакции в местах соединения звеньев. При возмущающих параметрах от действия сил сопротивления движению почвы реакции для шарнира Rcy1 (рама-шатун) составили по осям в пределах  $OY \pm 40$  ,  $OX 0 \dots 800$ ,  $OZ 0 \dots 150N$  соответственно. Для шарнира RRev3 (шатун-тяга) реакции составили  $OY \pm 40$ ,  $OZ 0 \dots -790$ ,  $OX 0 \dots 420N$ .

### 3 МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ СОШНИКА

#### 3.1 Методика лабораторных исследований рабочих процессов сошника

В ходе разработки и изготовления лабораторного стенда (рисунок 3.1) предусматривалась возможность проведения исследований различных конструкций сошников лесопитомниковых сеялок.



1 – рама; 2 – верхние направляющие; 3 – разработанный сошник; 4 – винты регулировки высоты и угла установки; 5 – шкалы установки высоты; 6 – режущая кромка; 7 – имитационная площадка

Рисунок 3.1 – Стенд для проведения лабораторных исследований качества



Рисунок 3.2 – Подготовка стенда к испытаниям

В ходе проведения исследований были определены наиболее оптимальные геометрические размеры сошника, а также углы вхождения в почву. Эффективностью работы исследуемого сошника является минимизация механического разрушения почвы для сохранения структуры почвы и воды (орошение, осадки), а также снижение энергоемкости процесса посева семян, упрощении конструкции устройства для посева семян.



Рисунок 3.3 - Работа сошника в песчаном канале

Предварительные лабораторные исследования показали работоспособность макетного образца сошника и способность производить нарезку посевной борозды путём вырезания слоя почвы с образованием пустоты над дном посевной борозды, в которую подавались семена по трубкам из воронок, а заделка семян производилась пластом почвы под действием собственной силы тяжести.

Лесовосстановление - это комплекс мероприятий, проводимый во время восстановления леса, и требования к подготовке почвы в питомниках весьма высокие, поэтому лабораторные исследования проводились в специально подготовленной почвенной среде, подходящей под указанные требования.

Для определения качества работы и энерго- затрат работы разрабатываемого сошника нами была проведена серия экспериментов, разделенная на две группы.

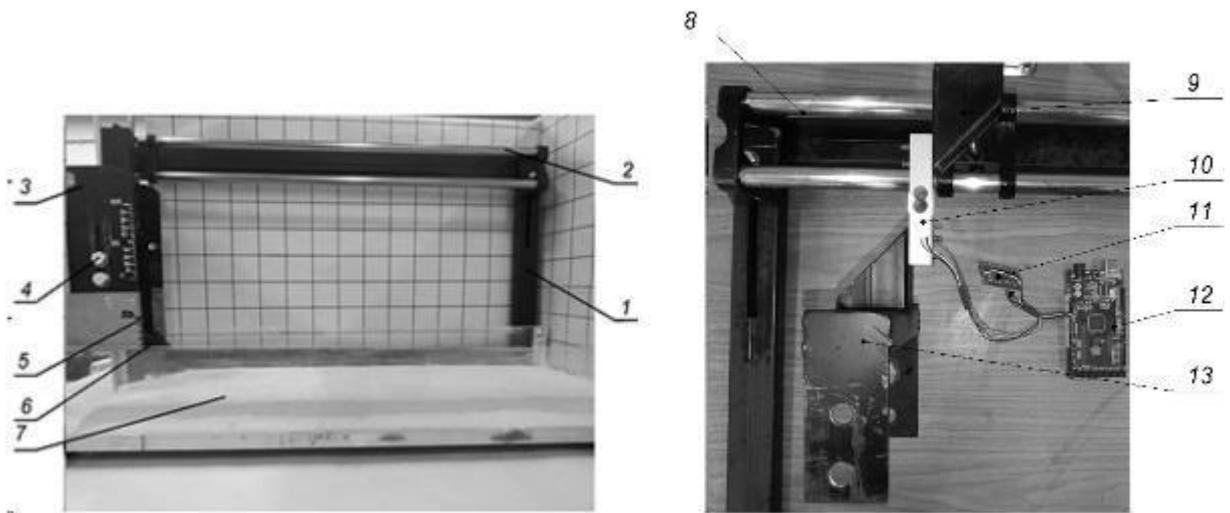
В ходе определения энерго-затрат работы разрабатываемого сошника лесной сеялки нами был разработан лабораторный стенд, позволяющий исключить все перемещение кроме поступательного движения сошника (рисунок 3.4).

В ходе проведения экспериментов сошник перемещался из левой части установки в правую. Рабочий ход сошника составил 0,65 м. Варьируемыми параметрами установки сошника являлись:

- угол вхождения в почву: 0,1745 радиан, 0,1920 радиан, 0,2094 радиан, 0,2269 радиан, 0,2443 радиан, 0,2618 радиан.

- величина заглубления: 0,005 м, 0,01 м, 0,015 м.

Скорость работы стенда была величиной расчетной, при постоянном значении пути, проводились замеры времени прохождения сошника от начала движения до момента остановки, так как отсутствовали этапы разгона и торможения, то расчетное значение скорости варьировалась от 0,29 до 0,36 м/с.



1 – рама; 2 – верхние направляющие; 3 – разработанный сошник; 4 – регулировочные винты; 5 – шкала установки глубины; 6 – режущий нож; 7 – почвенный канал; 8 – направляющие; 9 – верхнее крепление; 10 – тензористор; 11 - модуль тензодатчика hx711; 12 – arduinomega; 13 – посадочное место сошника

Рисунок 3.4 – Моделирующий стенд для проведения лабораторных исследований работы сошника лесной сеялки для ПИТОМНИКОВ

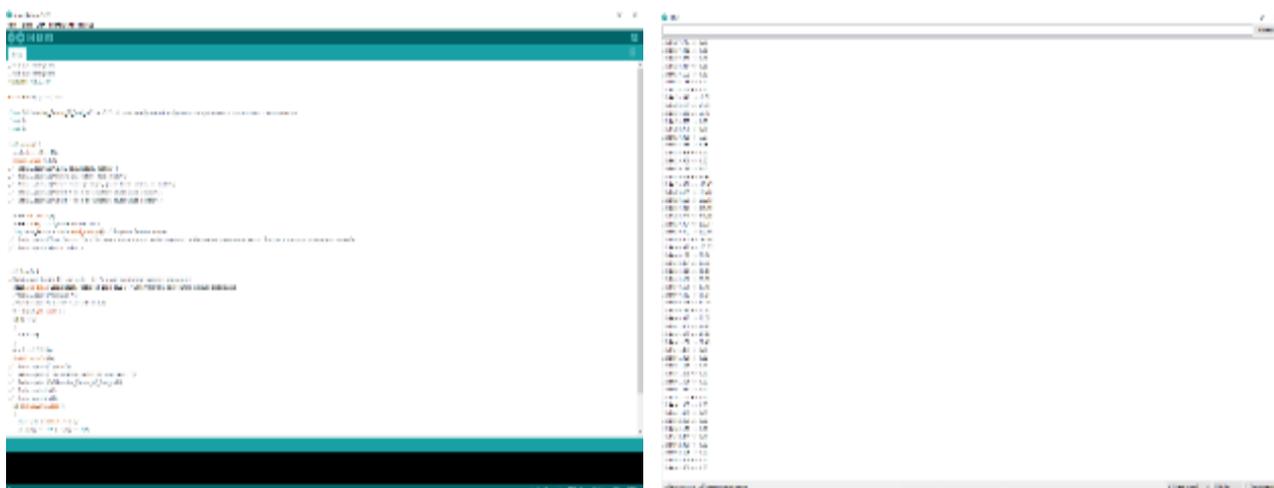


Рисунок 3.5 - Моделирующий стенд лесной сеялки, вид сверху

Тарировка датчика производили при помощи эталонов номиналом до 20 кг. Для фиксации датчика собрана конструкция с жестко закрепленным сошником при помощи стандартных отверстий между основной передвижной рамой и креплением сошника.

Так как посевные работы проводятся в весенний период, когда температура и влажность почвы подходят для роста растения. Нами были приняты следующие требования по влажности почвы для проведения лабораторных экспериментов в супесчаной почве, влажность которой варьировалась от 10 до 15%.

Для проведения лабораторных исследований необходимо произвести тарировку модульного тензодатчика.



а

б

а - окно ввода скетча; б - монитор СОМ порт

Рисунок 3.6 - Интерфейс Arduino

Для точности и адекватности полученных показаний лабораторного эксперимента проводили тарировку датчика при помощи эталонных грузиков, повтор был трёхкратным, нагрузка – циклическая, температура в лаборатории составляла +25°C. Напряжение на выходах тензодатчика регистрировали через каждые 5 кг в интервале от 0 кг до 20 кг. В ходе

проведения исследований мной был подобран поправочный коэффициент, который был равен величине значения 3.7. Съём показаний с датчика происходил с интервалом в 0,1 с.

Установленный сошник лесопитомниковой сеялки на стенде для имитации процесса в ходе проведения экспериментов углубляли при каждом проходе на 0,005 м при изменении параметров угла вхождения и срезания почвы 0,1745 радиан. ... 0,2618 радиан. Максимальное значение составило 9,9 Н при угле установки 0,2443 радиан. Минимальное значение составляло 7,8 Н при угле установки 0,1920 радиан. Полученные энергетические данные работы сошника лесопитомниковой сеялки, полученные в ходе лабораторного эксперимента занесены в приложение А.

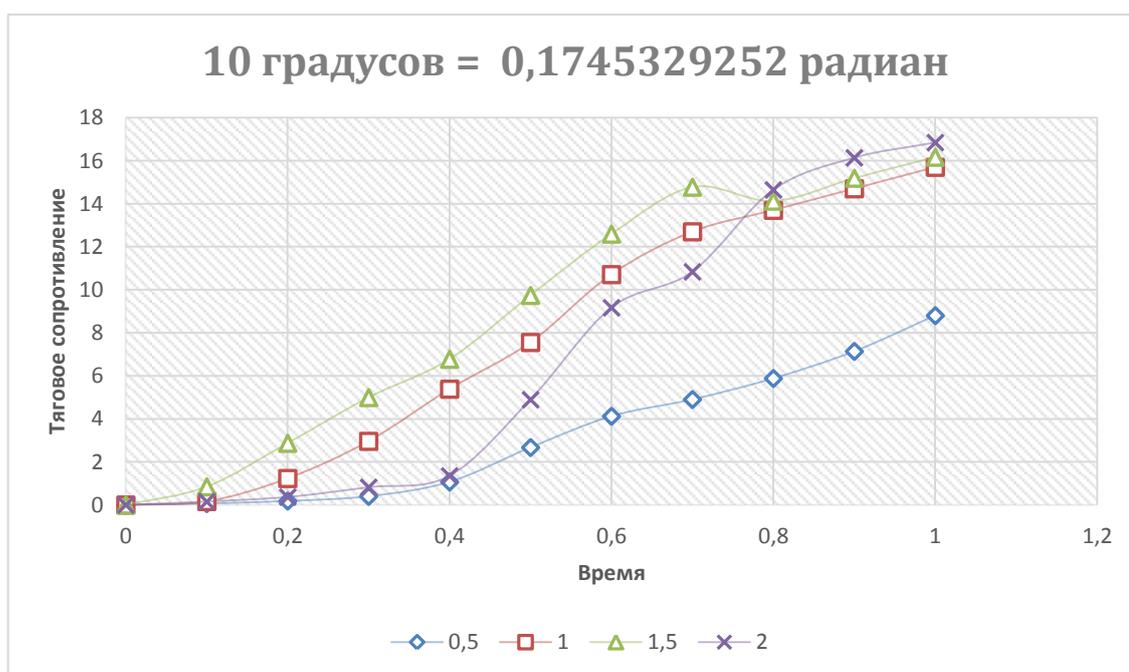


Рисунок 3.7 – Тягового сопротивления сошника при угле вхождения в почву 0,1745329252 радиан (10 градусов) при различной глубине обработки почвы

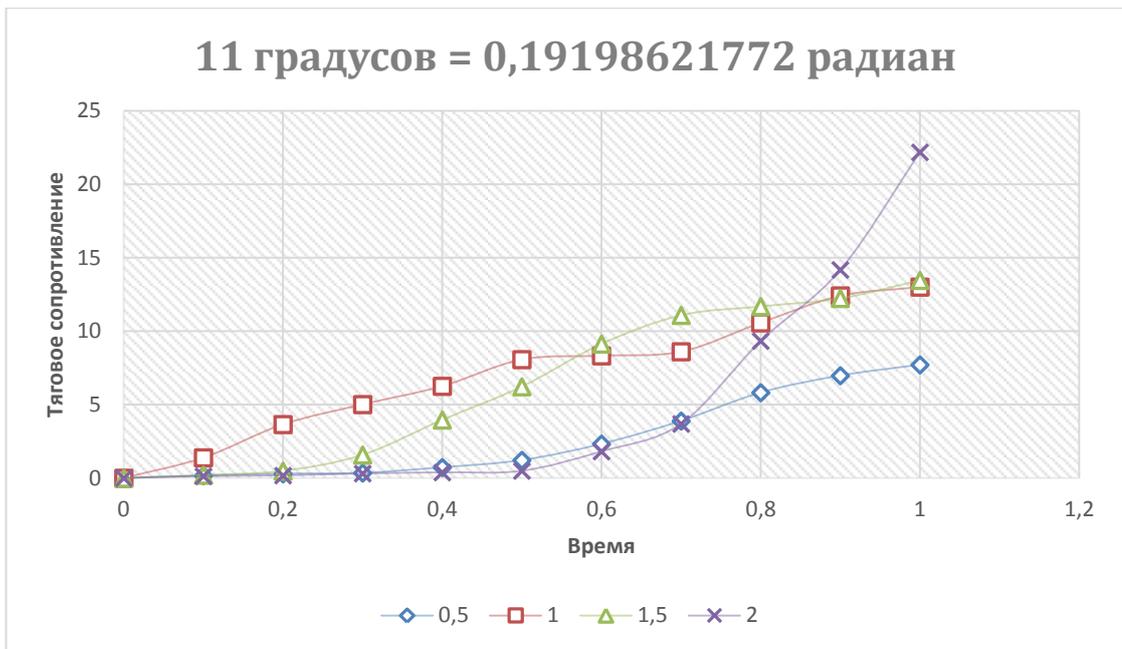


Рисунок 3.8 – Тягового сопротивления сошника от угла вхождения в почву 11 градусов = 0,19198621772 радиан при различной глубине обработки почвы

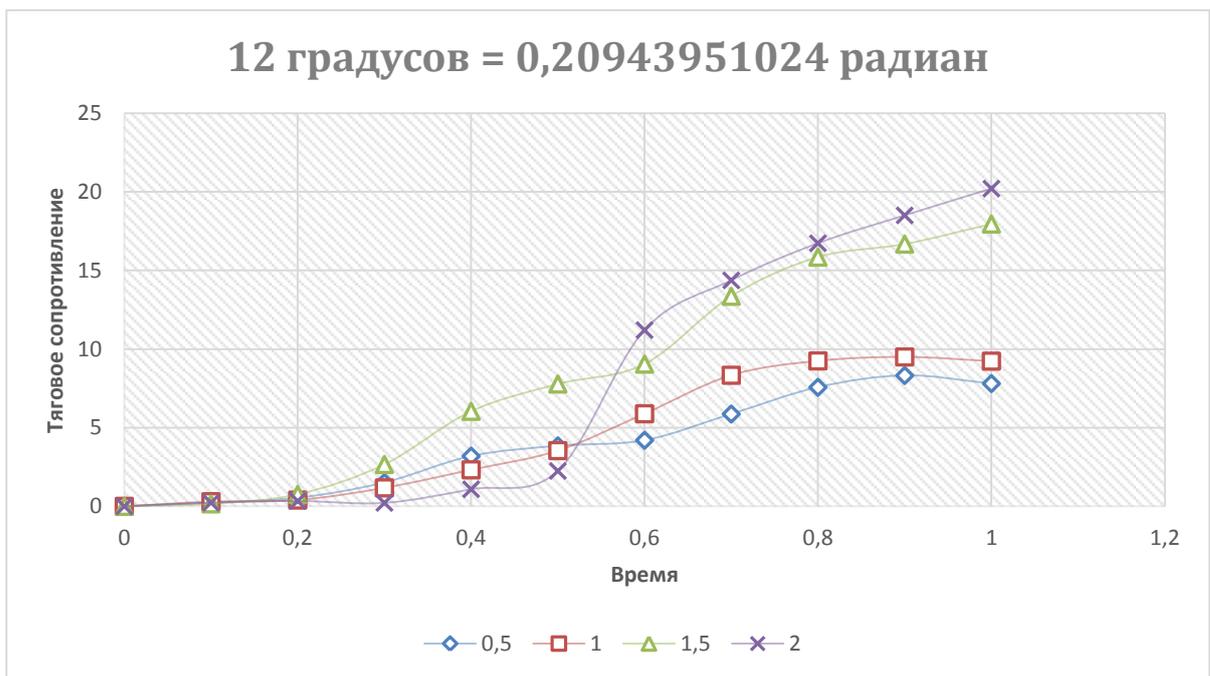


Рисунок 3.9 – Тягового сопротивления сошника от угла вхождения в почву 12 градусов = 0,20943951024 радиан при различной глубине обработки почвы

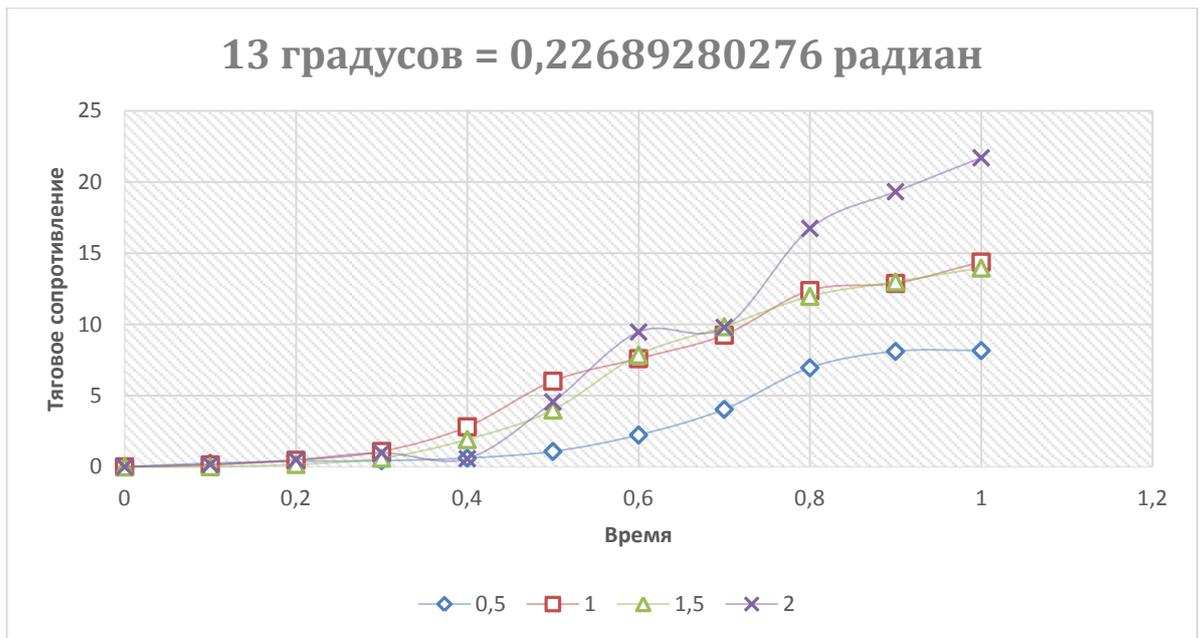


Рисунок 3.10 – Тягового сопротивления сошника от угла вхождения в почву 13 градусов = 0,22689280276 радиан при различной глубине обработки почвы

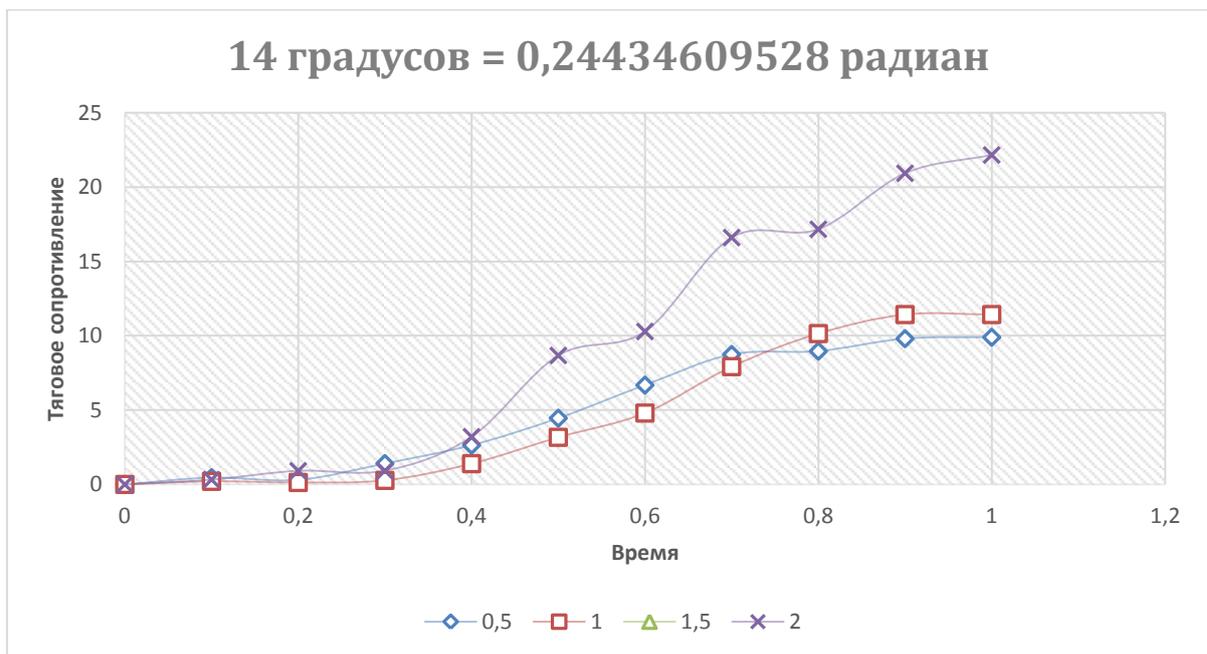


Рисунок 3.11 – Тягового сопротивления сошника от угла вхождения в почву 14 градусов = 0,24434609528 радиан при различной глубине обработки почвы

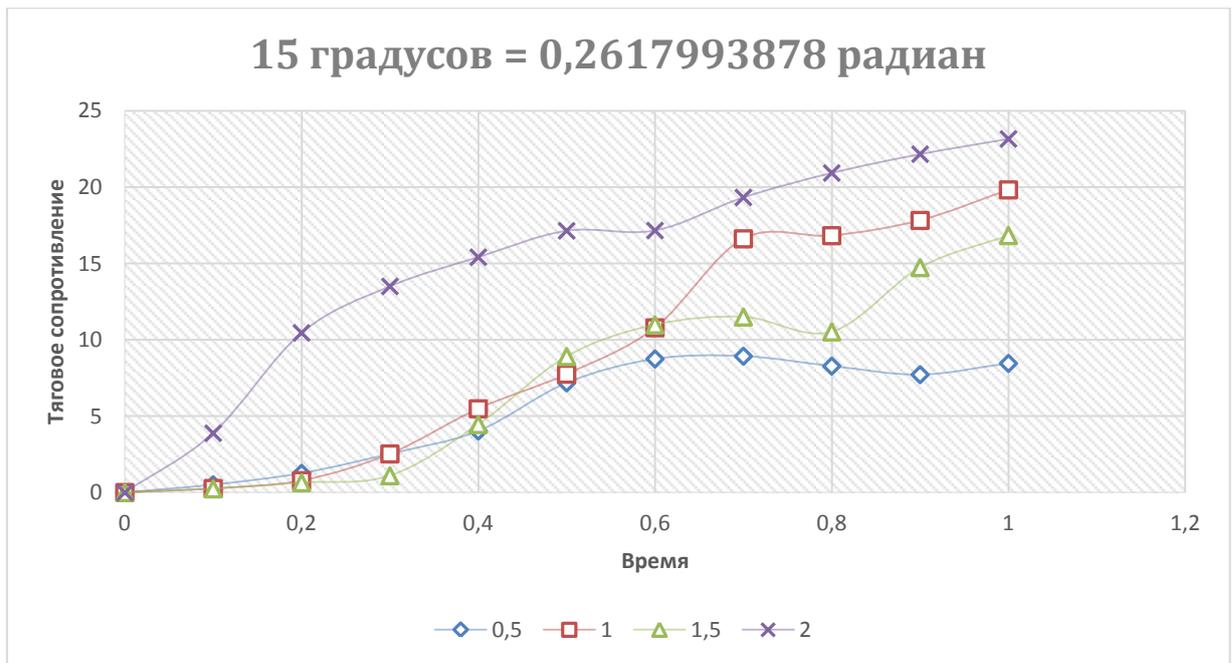


Рисунок 3.12 – Тягового сопротивления сошника от угла вхождения в почву 15 градусов = 0,2617993878 радиан при различной глубине обработки почвы

### 3.2 Оценка адекватности разработанной модели

Проверка адекватности разработанной математической модели производилась путем сопоставления теоретических и экспериментальных зависимостей тягового сопротивления сошника  $F_T$  от угла вхождения в почву  $\beta$ . Статистическую оценку адекватности произведем на примере зависимости  $F_T(\beta)$  для глубины обработки почвы сошником 0,01 м (рисунок 3.13).

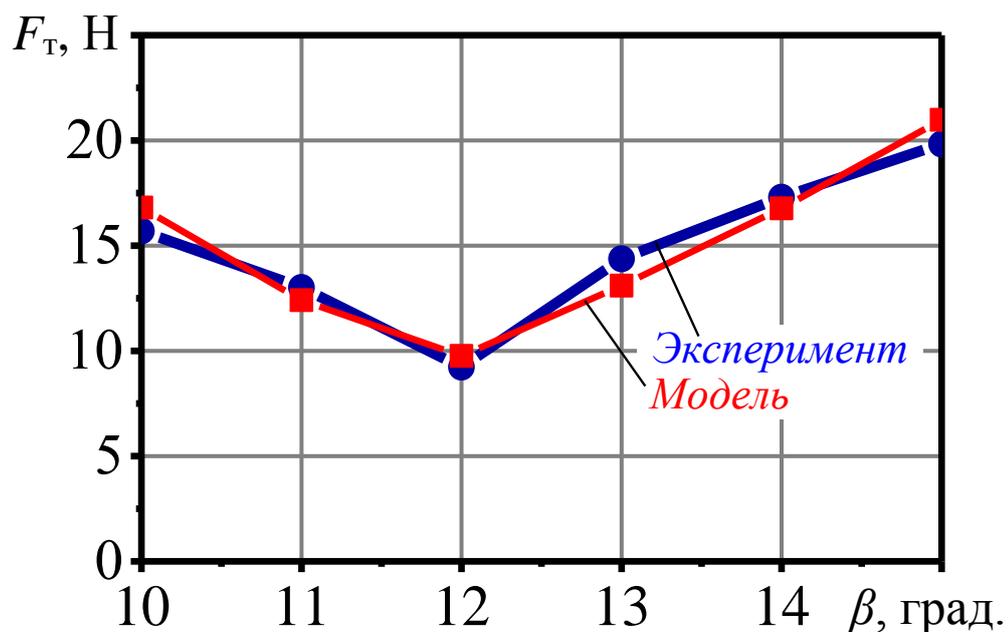


Рисунок 3.13 – Сопоставление теоретических и экспериментальных зависимостей тягового сопротивления сошника  $F_T$  от угла вхождения сошника в почву  $\beta$  при глубине обработки почвы 0,01 м

Для проведения статистической оценки рассмотрим случайную величину, представляющую собой отклонение экспериментальной зависимости от теоретической  $F = F_{ТЭ} - F_{ТМ}$ . Зависимость  $F_T(t)$  получена по шести экспериментальным точкам как в лабораторном эксперименте (таблица 3.2, взяты последние точки № 11, представляющие собой установившееся значение тягового сопротивления), так и в компьютерном эксперименте (взяты значения для того же набора углов вхождения сошника) (таблица 3.6).

Для проверки адекватности модели использовался двусторонний критерий Сьюдента  $t_{д.к.}$ . Статистическая гипотеза формулировалась следующим образом: «экспериментальная зависимость совпадает с теоретической», что в обозначениях случайных величин записывается « $F_{ТМ} = F_{ТЭ}$ », или, что-то же самое, « $F = 0$ ». Гипотеза считается верной, если выполняется условие

Таблица 3.1 – Экспериментальные и теоретические значения тягового сопротивления сошника  $F_T$  при различных углах вхождения сошника в почву  $\beta$  для проверки адекватности модели

Номер экспериментальной точки	Угол $\beta$ , градусы	Тяговое сопр. сошника (экспер.), Н	Тяговое сопр. сошника (модель), Н	Разность тяговых сопр. $F_{ТЭ} - F_{ТМ}$ , °С
1	10	15,70	16,81	-1,11
2	11	13,01	12,41	0,60
3	12	9,23	9,76	-0,53
4	13	14,38	13,10	1,28
5	14	17,31	16,77	0,54
6	15	19,83	20,98	-1,15

$$\frac{|m_F|}{s_F} \sqrt{n} < t_{д.к.}(\alpha, n - 1), \quad (3.1)$$

где  $m_F$  и  $s_F$  – статистические оценки среднего значения и среднеквадратичного отклонения случайной величины  $F$ ;  
 $n$  – количество экспериментальных точек;  
 $\alpha$  – уровень статистической значимости.

Предварительно в последней колонке таблицы 3.6 рассчитаны отклонения экспериментальных значений от соответствующих теоретических. Среднее по шести реализациям случайной величины  $F$  отклонение составляет  $m_F = -0,0617$ , среднее квадратичное отклонения величины  $F$  составляет  $s_F = 1,0103$ .

Подставляя найденные значения среднего арифметического и среднеквадратичного отклонения, а также найденное по соответствующей таблице значение критерия Стьюдента  $t_{д.к.}$  для уровня значимости  $\alpha = 0,05$ , получим:

$$\frac{0,0617}{1,0103} \sqrt{6} = 0,1496 < 2,5706, \quad (3.2)$$

Выполнение неравенства позволяет утверждать об адекватности модели экспериментальным данным со статистической более 95 %.

Таким образом, проведенная оценка свидетельствует об адекватности разработанной математической модели. Статистически установленное совпадение теоретических и экспериментальных данных позволяет использовать модель для исследования влияния параметров сошника лесной сеялки для лесопитомников на его эффективность с высоким уровнем статистической достоверности полученных результатов.

### 3.2 Выводы

1. В ходе проведения исследований нами был разработан и изготовлен моделирующий стенд для проведения энергетических исследований разработанного сошника лесопитомниковой сеялки. Проведены лабораторные исследования и установлена зависимость тягового сопротивления от угла вхождения в почву и срезания почвы разработанным сошником.

2. В ходе проведения эксперимента, варьируемые параметры установки сошника: угол вхождения в почву сошника, изменяли от 0,1745 рад до 0,2618 рад. Величина заглубления от 0,005 до 0,02 м. Скорость работы стенда варьировалась от 0,29 до 0,36 м/с.

3. При установке угла вхождения сошника в почву 0,1745 рад. на глубине 0,005 м тяговое сопротивление на сошник плавно возрастает до отметки 8,8 Н. При этом углы с 0,1745 рад. по 0,2269 рад. показывают близкие значения по нагрузке, действующей на сошник лесопитомниковой сеялки. При угле в 0,2443 рад нагрузка на сошник значительно отличается от остальных угловых параметров установки. По данным полученным в ходе проведения исследования видно, что до 8 секунды нагрузка на сошнике стремительно возрастает до отметки 8,7 Н, а затем немного выравнивается и

при остановке достигает пика в 9,9 Н при этом возникает сгуживание почвы между подрезающими кромками сошника.

4. Работа сошника на глубине 0,01 м показывает, что с увеличением глубины обработки почвы, увеличивается нагрузка на рабочий орган, независимо от угла установки сошника. Первая линия изменения нагрузки во времени показывает угол наклона сошника 0,1745 рад. Следовательно, тяговые значения при данном угле плавно возрастает до отметки 15,69 Н., а при угле вхождения сошника в почву 0,1920 рад., видно, что с самого начала движения агрегата нагрузка сразу начинает расти до 6 секунды эксперимента и максимальная нагрузка при данных параметрах составляет 13 Н.

5. При имитации процесса на глубине 0,015 м с изменением угла вхождения в почву с 0,1745 рад. до 0,2618 рад максимальное значение составило 19,8 Н при угле установки 0,2618 рад., минимальное значение составляло 13,4 Н при угле установки 0,1920 рад.

6. На глубине обработки почвы 0,02 м при угле вхождения в почву равном 0,1745 рад. заглубление в посевную борозду происходит только на 5 секунде эксперимента и быстро возрастает до отметки 16,8 Н. Это минимальное значение сопротивления в данной серии экспериментов. При угле вхождения в почву в 0,1920 рад., заглубление происходит только на 6 секунде эксперимента со стремительным возрастанием нагрузки до практически максимальных значений в 22,2 Н, что свидетельствует о неудовлетворительной работе сошника при данных условиях.

7. Оценка на основе критерия Стьюдента совпадения результатом моделирования и лабораторного эксперимента позволила установить, что разработанная модель адекватна экспериментальным данным с уровнем статистической надежности более 0,95.

## 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ СОШНИКА ЛЕСОПИТОМНИКОВОЙ СЕЯЛКИ

### 4.1 Методика проведения лабораторно-полевых исследований

Целью экспериментальных исследований представляется исследование энергетических характеристик и обоснование новой конструктивной схемы сошника лесопитомниковой сеялки.

В соответствии с поставленной целью была разработана методика проведения экспериментальных исследований.

В лабораторных условиях проверить работоспособность нового разрабатываемого сошника лесопитомниковой сеялки и исследовать процесс перебрасывание поднимаемого подсушенного слоя и возвращение его в бороздку, а также установить влияние угла вхождения в почву на основные качественные и энергетические показатели новой конструкции сошника.

В полевых исследованиях провести испытания лесопитомниковой сеялки, оснащенной новым разработанным сошником.

Для определения энергетических показателей работы разрабатываемого и исследуемого нами сошника, была проведена серия экспериментов в почвенном канале кафедры МЛХиПМ.

В ходе проведения исследований нами произведен съем энергетических показаний при различных вариантах установки сошника.

В ходе проведения исследования изменяемыми параметрами были выбраны угол вхождения сошника в почву и величина заглубления.

В качестве основной сеялки в ходе экспериментальных исследований новой конструкции сошника применена стандартная сеялка СТВ-2, а сами исследования проводились на площадях учебно-опытного



Рисунок 4.1 - Сеялка СТВ-2 с установленным новым сошником в почвенном канале кафедры МЛХ и ПМ

Параметры, которые в ходе проведения лабораторно-полевых исследований оставались постоянными: твёрдость почвы ( $\rho$ , Н/см<sup>2</sup>); важность почвы ( $W$ ); поступательная скорость ( $V_{\text{пост}}$ , км/час) движения агрегата.

Параметры, которые в ходе проведения экспериментальных исследований изменялись: глубина хода сошника ( $a_c$ , м); угол вхождения в почву ( $\beta$ , рад).

Получаемые данные экспериментальных исследований являлись: тяговое сопротивление ( $F_T$ , кН). И качественные показатели работы сошника.

Обозначим параметры экспериментальных исследований в виде схемы (рисунок 4.2).

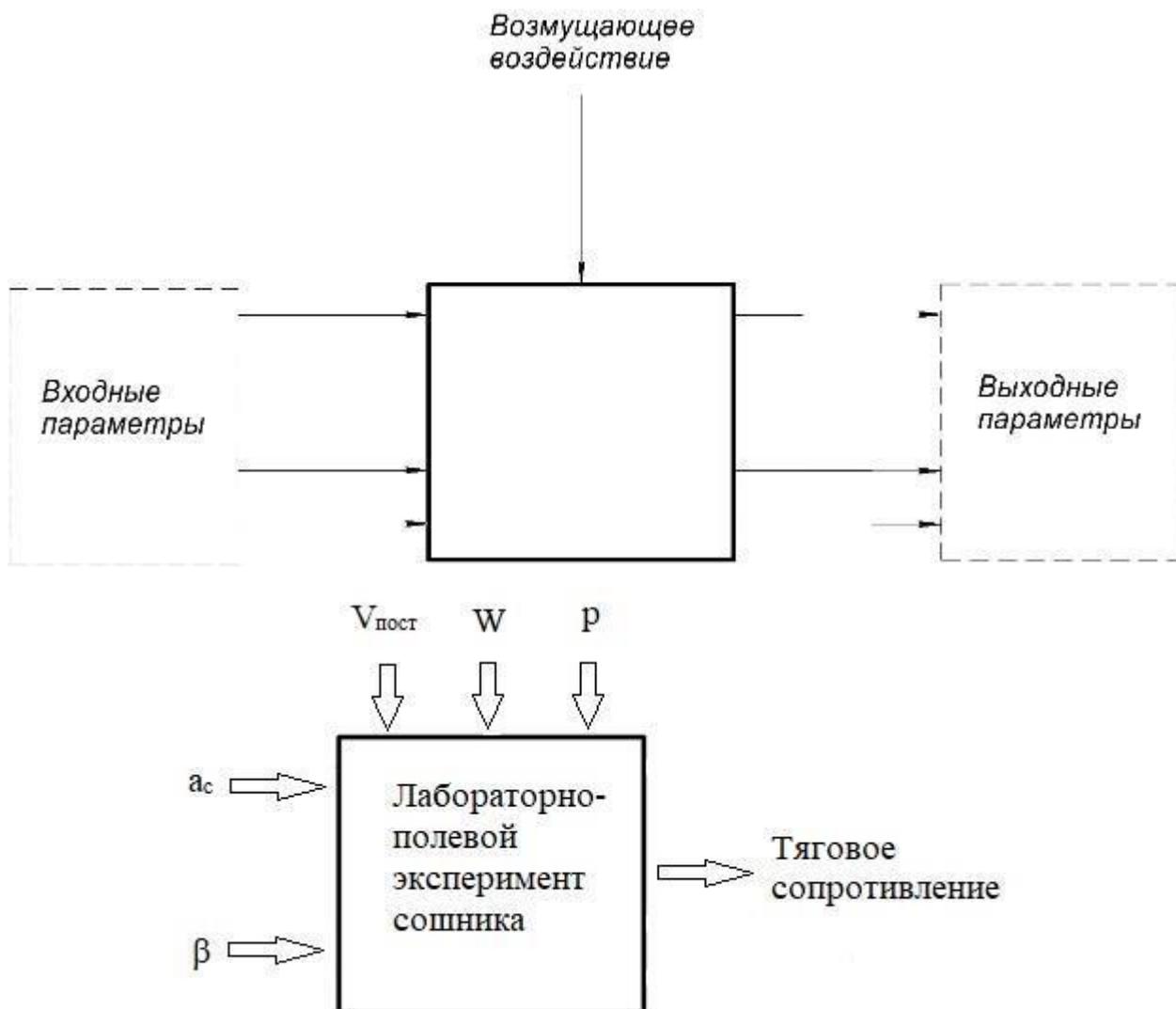


Рисунок 4.2 – Схема экспериментальных исследований сошника лесопитомниковой сеялки

Данные снимаемых тяговых характеристик при различных вариантах установки исследуемого сошника с S-образного датчика силы растяжения и сжатия UU (рисунок 4.3), установленного на лабораторной тензонавеске передавались в реальном времени на тензометрическую станцию Zetlab(ZET-058).



Рисунок 4.3- Тензодатчик силы растяжения и сжатия UU-K500

Принцип действия основан на преобразовании механической силы (растяжение/сжатие) вдоль оси симметрии датчика в пропорциональный электрический сигнал. Сигнал с датчика передаётся на тензометрическую станцию Zetlab (рисунок 4.4)



Рисунок 4.4– Тензометрическая станция Zetlab

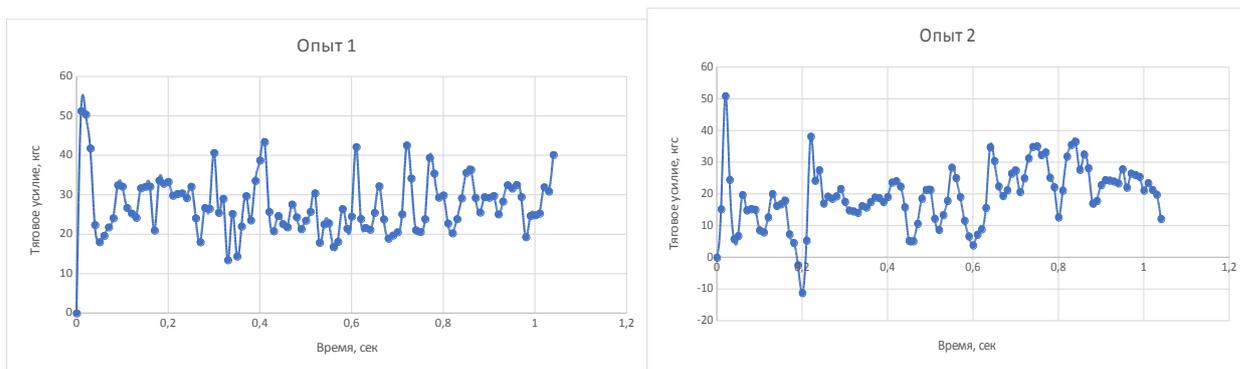
Обработка принимаемого сигнала из тензометрической станции Zetlab происходит на программном обеспечении ZETLAB SENSOR (рисунок 4.5).



Рисунок 4.5- Регулировка угла вхождения сошника в почву

#### 4.2 Результаты экспериментальных исследований

Данные получаемые в ходе проведения экспериментальных исследований в реальном времени отображались в осциллограммах с графиком и дополнительно записывались в файл в виде табличных значений зависимости снимаемых характеристик от временной шкалы. Такое представление данных позволило в ходе проведения исследований отслеживать изменение показаний и в дальнейшем провести обработку данных эксперимента (рисунок 4.6).



а) б)

Рисунок 4.6 - Обработанные осциллограммы тягового сопротивления сошника при глубине хода сошника 0,005 м (а), угол вхождения в почву 0,1745 рад и глубине 0,01м (б).

#### 4.3. Обработка данных полученных в ходе проведения экспериментальных исследований

Обработка данных полученных в ходе проведения экспериментальных исследований, проведена методом статистической обработки в программе Excel.

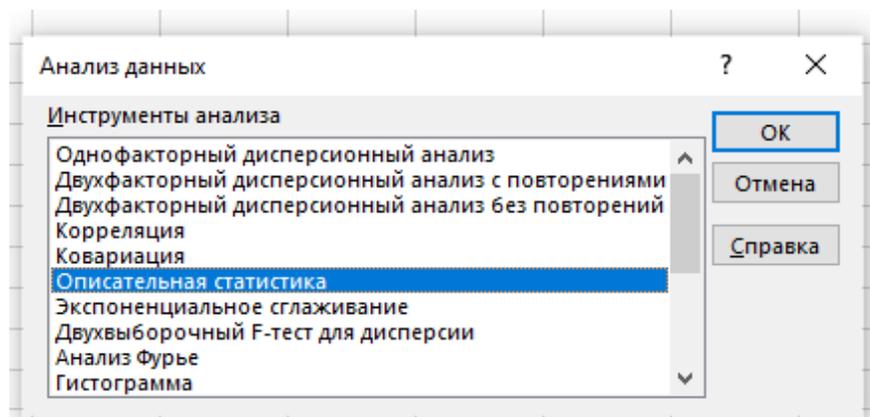
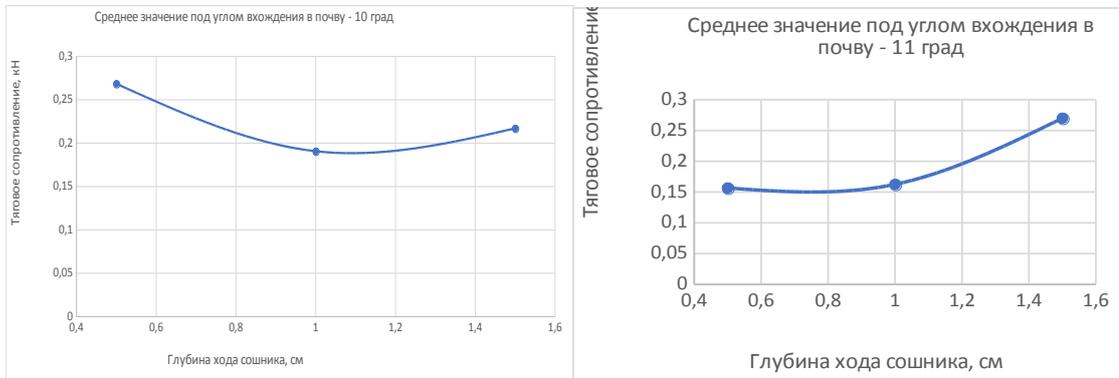


Рисунок 4.7 - Описательная статистика

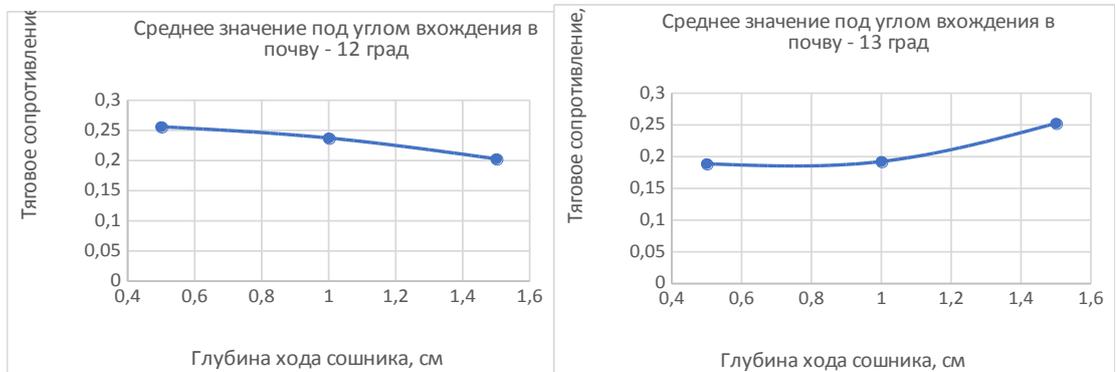
Полученные результаты занесены в таблицы. По результатам статистической обработки данных полученных в ходе проведения экспериментальных испытаний построены графики зависимостей угла

вхождения сошника в почву и от глубины обработки на тяговые усилия работы сошника(рисунки 4.8- 4.11).



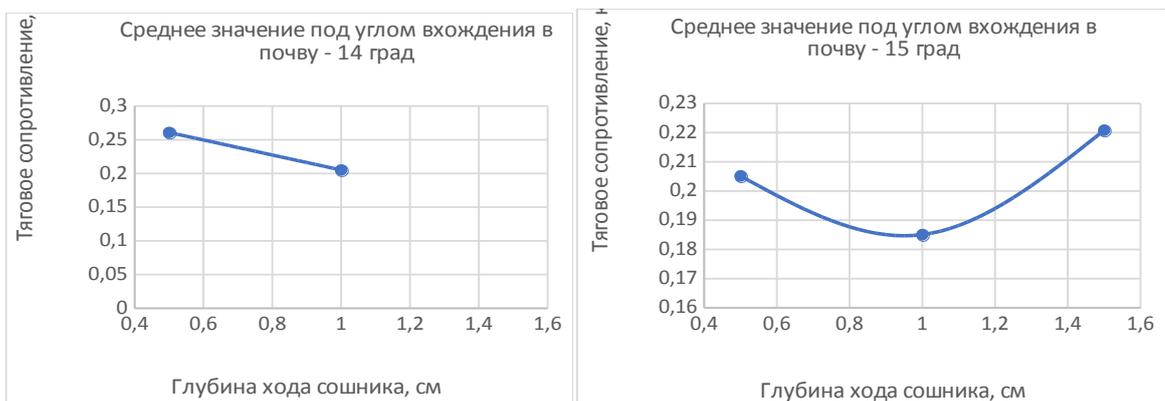
а)

б)



в)

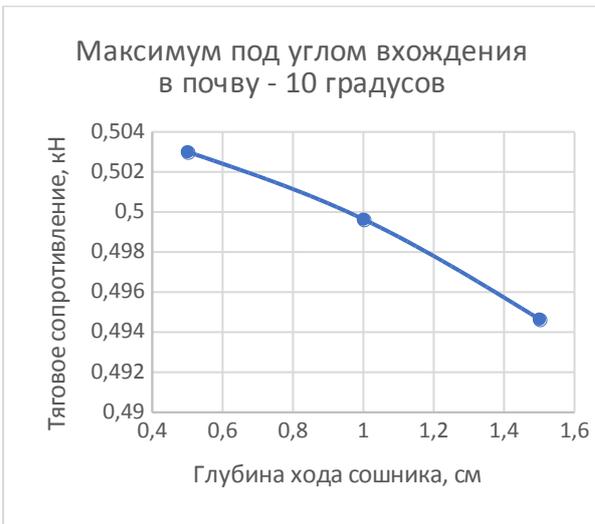
г)



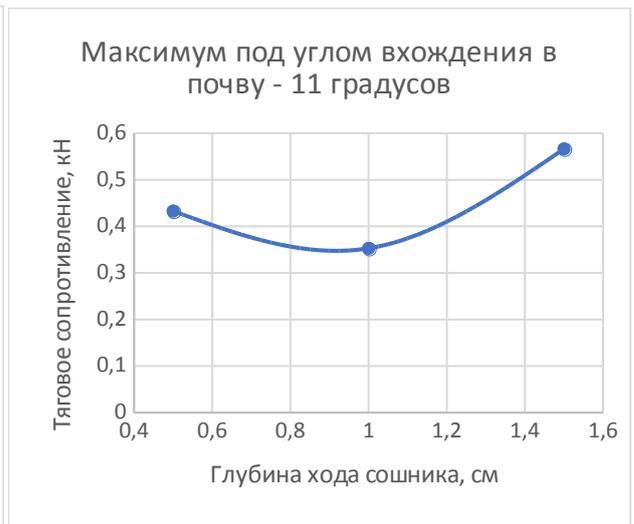
д)

е)

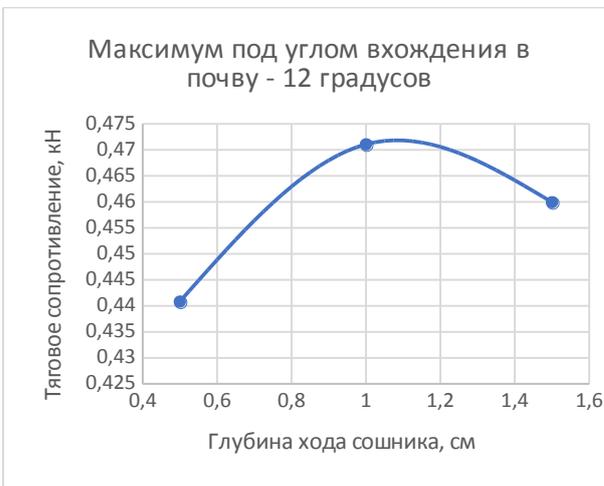
Рисунок 4.8 - Зависимости средних тяговых сопротивлений и глубины обработки почвы



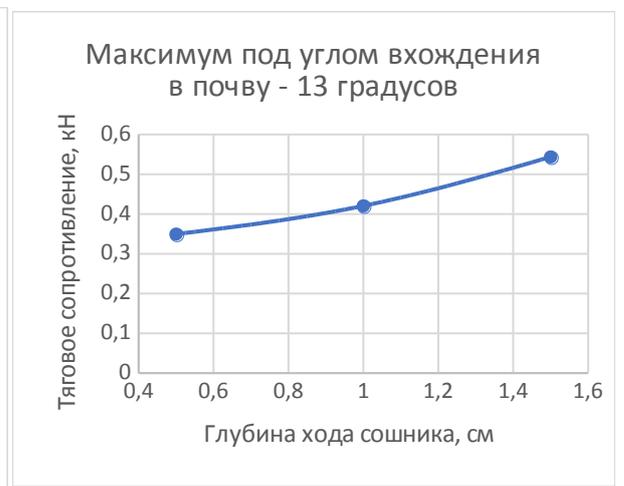
а)



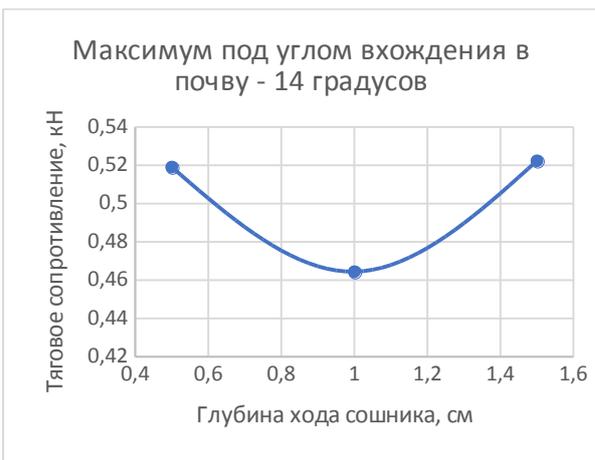
б)



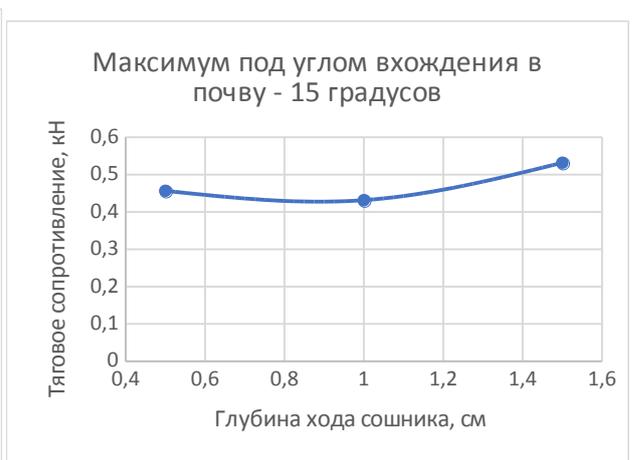
в)



г)

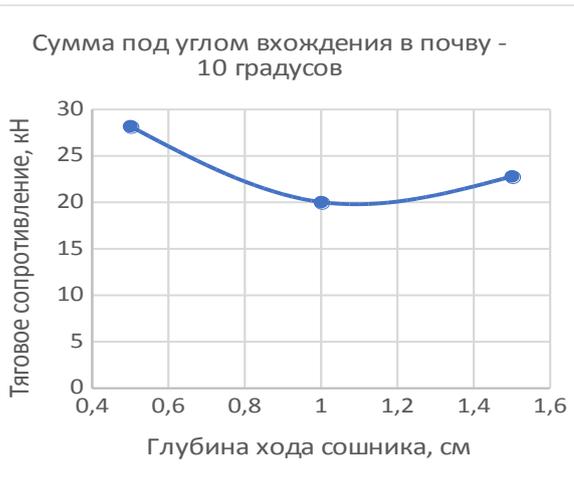


д)

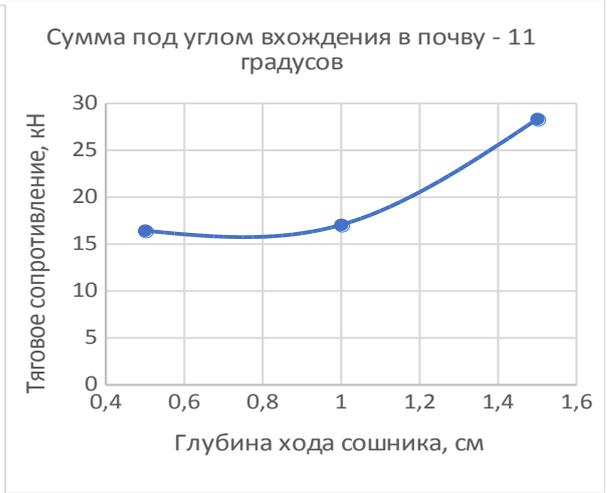


е)

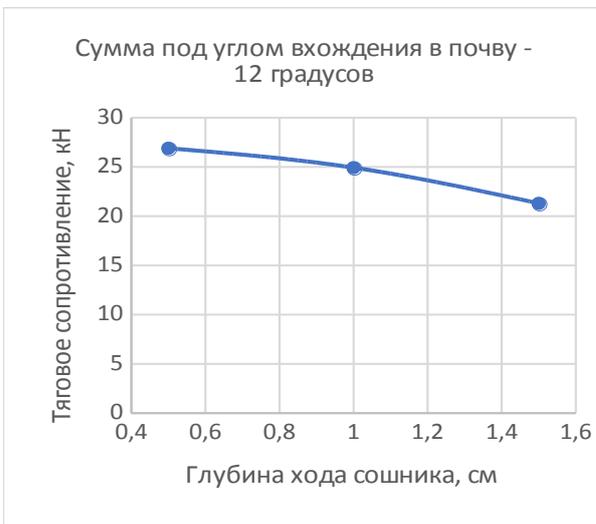
Рисунок 4.9 - Зависимости максимальных тяговых сопротивлений и глубины обработки почвы



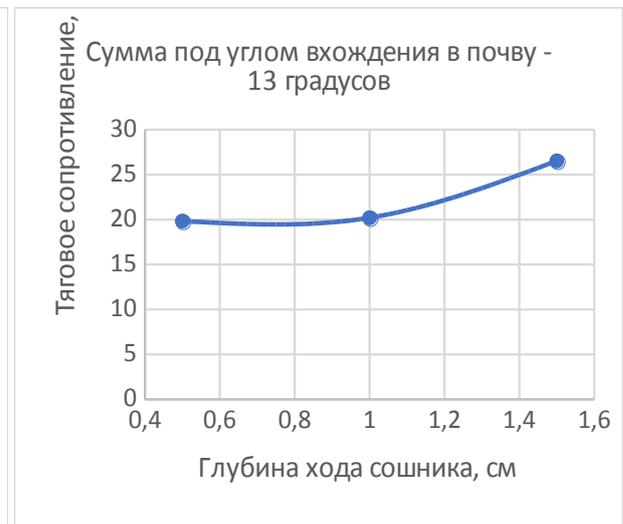
а)



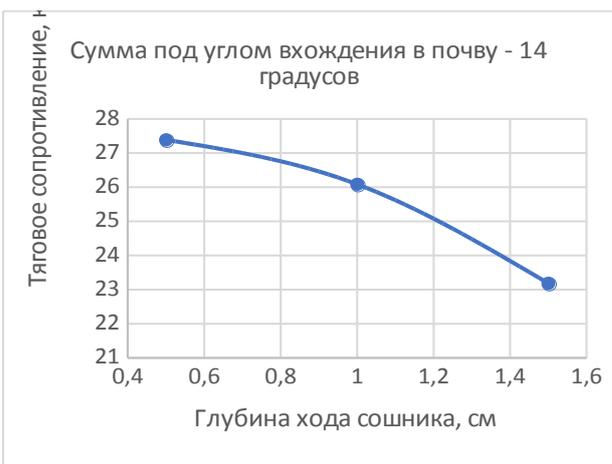
б)



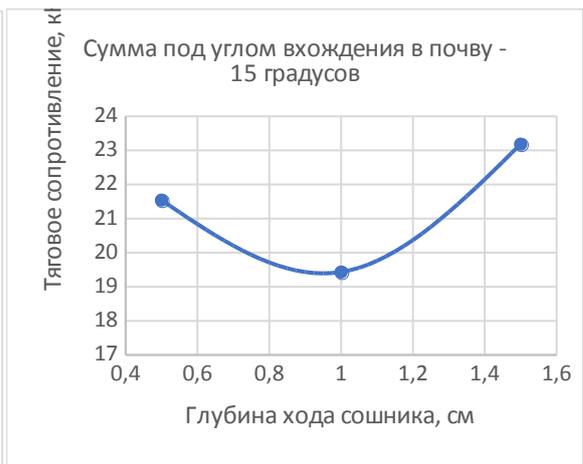
в)



г)



д)



е)

Рисунок 4.10 - Зависимости суммарных значений тяговых сопротивлений и угла вхождения в почву

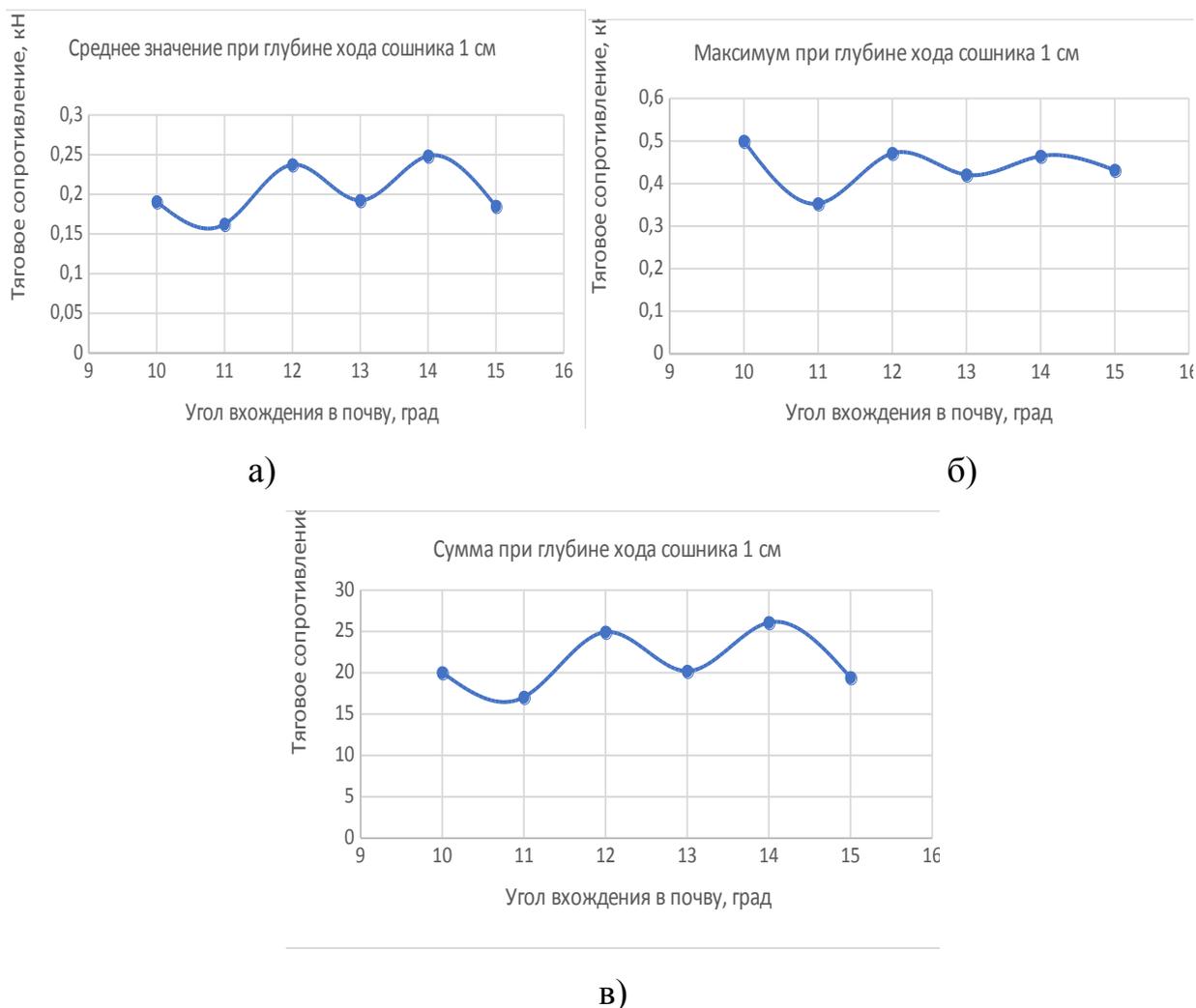


Рисунок 4.11 – Экспериментальные данные работы сошника при различных углах вхождения сошника в почву

Анализ зависимостей средних тяговых сопротивлений и глубины обработки почвы (рисунок 4.8) показывает, что минимальное тяговое усилие сошника наблюдается при всех углах вхождения сошника в почву при глубине обработки 0,01 м, кроме угла вхождения равном 0.20943951024 радиан (12 градусов), при котором минимальное тяговое усилие при глубине 0,015 м.

Анализ зависимостей максимальных тяговых сопротивлений и глубины обработки почвы (рисунок 4.9) показывает, что минимальное тяговое усилие сошника наблюдается только при углах вхождения сошника в почву равных

0.19198621772 радиан (11 градусов), 0.24434609528 радиан (14 градусов) и 0.2617993878 радиан (15 градусов) при глубине обработки 0,01 м, при углах вхождения равном 0.20943951024 радиан (12 градусов) и 0.22689280276 радиан (13 градусов) минимальное тяговое усилие при глубине 0,005 м.

#### 4.4 Экспериментальная оптимизация параметров сошника лесной сеялки для питомников

Результаты экспериментальных исследований позволяют выполнить многофакторную оптимизацию параметров сошника лесной сеялки для питомников. И в лабораторных, и в полевых экспериментах получены таблицы, связывающие глубину хода сошника  $a_c$ , угол вхождения сошника в почву  $\beta$  и среднее тяговое сопротивление сошника  $F_T$ . Задачу двухфакторной оптимизации записать аналитически следующим образом:

$$F_T(a_c, \beta) \rightarrow \min; \Rightarrow a_c^{\text{опт}}, \beta^{\text{опт}}, \quad (4.1)$$

где  $a_c^{\text{опт}}$  и  $\beta^{\text{опт}}$  – оптимальные значения глубины хода сошника и угла вхождения в почву.

Исходными данными для оптимизации в лабораторном эксперименте являлась следующая таблица 4.1.

Таблица 4.1– Зависимость среднего тягового сопротивления сошника  $F_T$  (в Ньютонах) от глубины хода  $a_c$ , и угла вхождения в почву  $\beta$ , полученная в лабораторном эксперименте

Глубина хода сошника $a_c$ , м	Угол вхождения сошника в почву $\beta$ , рад(градусы)					
	0,1745329 252 рад. (10 град)	0,1919862 1772 рад (11 град)	0,2094395 1024 рад (12 град)	0,2268928 0276 рад (13 град)	0,2443460 9528 рад (14 град)	0,2617993 878 рад (15 град)
0,005	8,8007	7,7137	8,1660	7,8085	9,9012	8,4598
0,010	15,6954	13,0087	9,2327	14,3825	17,3096	19,8274
0,015	16,1611	13,4644	17,9560	13,9639	15,4010	16,8382
0,020	16,8426	22,1828	20,2084	21,7119	22,1666	23,1666

Исходными данными для оптимизации в полевом эксперименте являлась следующая таблица 4.2.

Таблица 4.2 – Зависимость среднего тягового сопротивления сошника  $F_T$  (в Ньютонах) от глубины хода  $a_c$ , и угла вхождения в почву  $\beta$ , полученная в полевом эксперименте

Глубина хода сошника $a_c$ , м	Угол вхождения сошника в почву $\beta$ , градусы					
	0,174532 9252 рад. (10 град)	0,191986 21772 рад (11 град)	0,209439 51024 рад (12 град)	0,2268928 0276 рад (13 град)	0,244346 09528 рад (14 град)	0,2617993 878 рад (15 град)
0,005	0,2685	0,1565	0,2561	0,1888	0,2608	0,2051
0,010	0,1907	0,1624	0,2374	0,1923	0,2484	0,1850
0,015	0,2171	0,2698	0,2028	0,2526	0,2208	0,2208

В результате двухфакторной оптимизации необходимо не только установить оптимальные диапазоны параметров сошника, но и обобщить результаты лабораторных, полевых и теоретических исследований.

Для экспериментальной двухфакторной оптимизации использовался тот же математический аппарат, что и для теоретической оптимизации (изложен выше). Произведена аппроксимация табличных данных полиномиальными функциями второго порядка и построены их графики (рисунок 4.12) и картограммы оптимизации (рисунок 4.13).

Благодаря комплексному экспериментальному исследованию (лабораторному и полевому) появляется возможность обобщить основные закономерности и исключить случайные факторы.

В целом, зависимости  $F_T(a_c, \beta)$ , полученные в лабораторном (рисунок

4.12, *a*) и полевом (рисунок 4.12, *б*) совпадают: с увеличением глубины хода сошника увеличивается тяговое сопротивление.

Различия между результатами лабораторных и полевых экспериментов (преимущественно во влиянии угла вхождения сошника в почву) обусловлены различными свойствами почвы, различным способом удержания сошника на заданной глубине, различными способами придания сошнику заданной скорости движения. Из-за перечисленных различий в условиях проведения эксперимента несколько отличается характер зависимостей  $F_T(a_c, \beta)$  в лабораторном (рисунок 4.12, *a*) и полевом (рисунок 4.12, *б*) экспериментах.

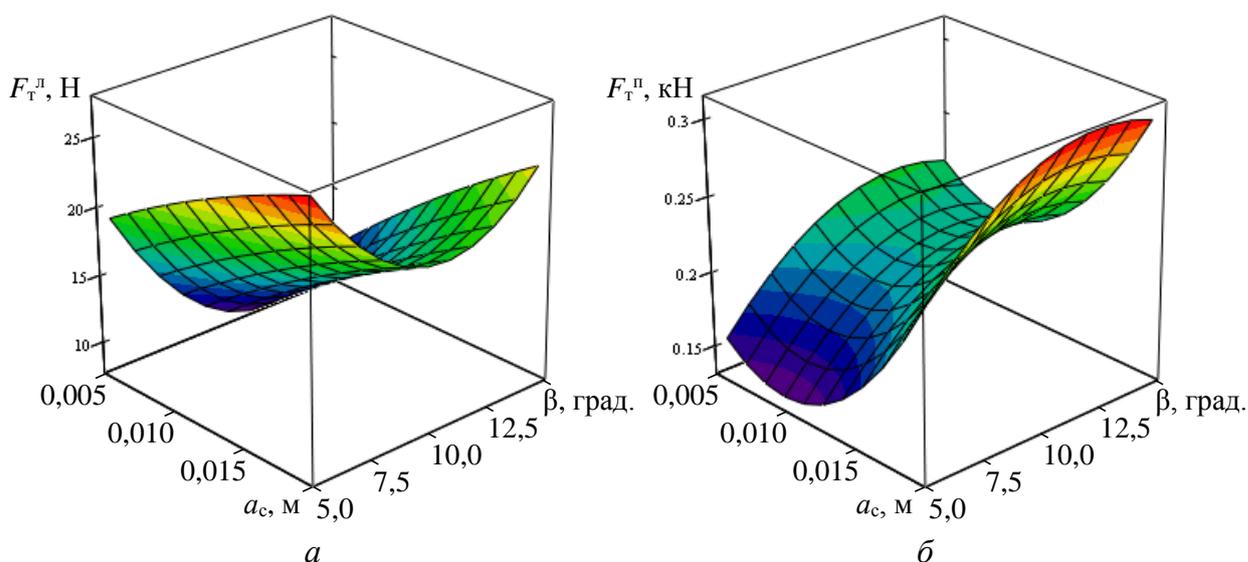


Рисунок 4.12 – Графики влияния глубины хода сошника  $a_c$  и угла вхождения сошника в почву  $\beta$  на среднее тяговое сопротивление сошника  $F_T$  в лабораторном (*a*) и полевом (*б*) экспериментальных исследованиях

Для выделения общих (фундаментальных) закономерностей и исключения закономерностей, связанных с вариативностью условий эксплуатации сошника определена область пересечения экспериментальных

данных графоаналитическим путем по картограммам оптимизации (рисунок 4.13). Для этого предварительно выделены области низких значений тягового сопротивления на картограммах лабораторного (рисунок 4.13, а) и полевого (рисунок 4.13, б) экспериментов; при этом разграничивающие линии уровня выбраны соответственно 15 Н и 0,2 кН из условия пересечения образуемых областей.

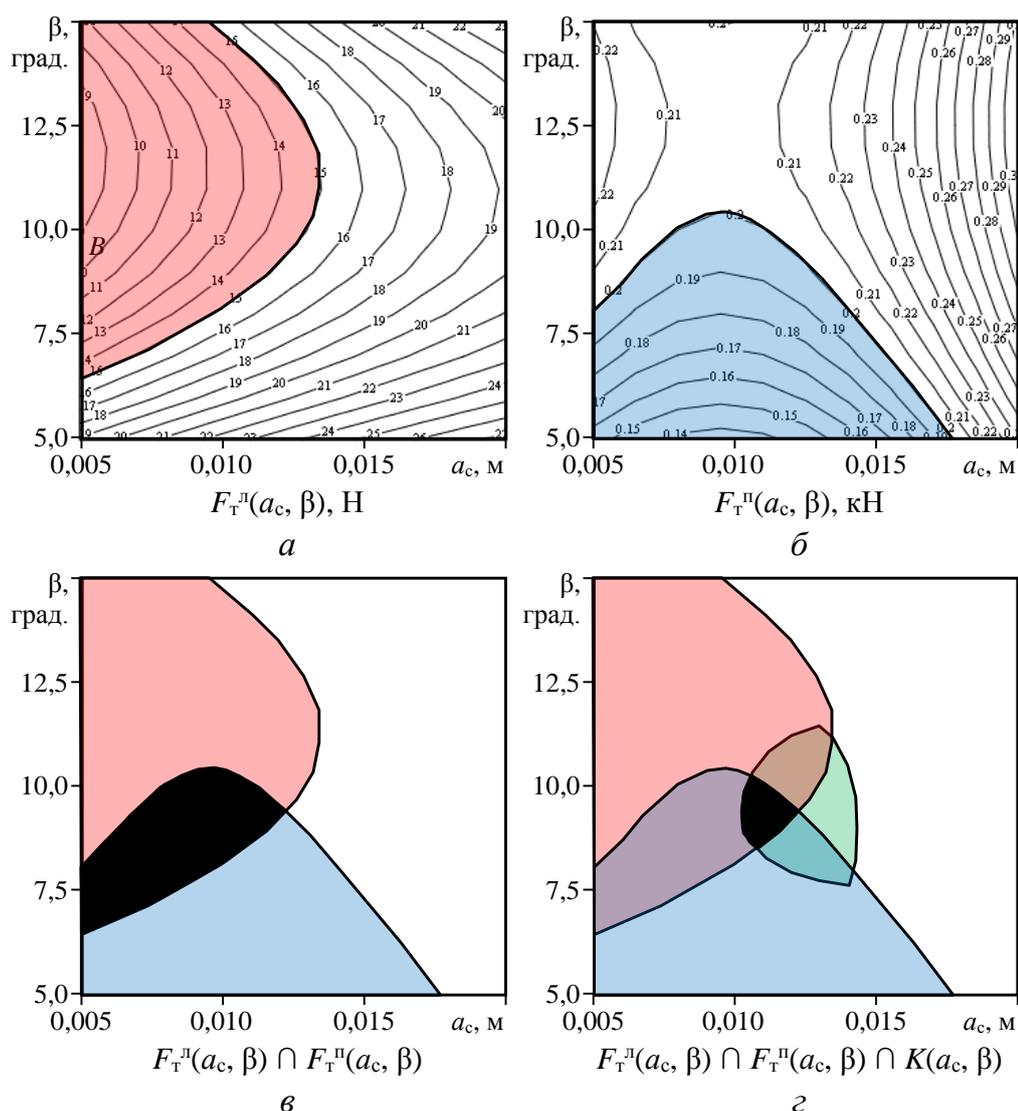


Рисунок 4.13 – Картограммы оптимизации параметров сошника: зависимости среднего тягового сопротивления сошника  $F_T$  в лабораторном (а) и полевом (б) экспериментальных исследованиях от глубины хода сошника  $a_c$  и угла вхождения сошника в почву  $\beta$

Область экспериментальных данных, в которой результаты лабораторных и полевых исследований совпадают по условию минимизации тягового сопротивления, является довольно протяженной (выделена черным цветом на рисунке 4.13, в): глубина хода сошника от 0,005 до 0,012 м; угол вхождения сошника в почву от 0.11344640138 радиан (6.5 градусов) до 0.19198621772 радиан (11 градусов). Достаточно широкие оптимальные диапазоны параметров сошника предоставляют определенную гибкость при решении задач конструирования и производства сеялок, и гарантируют, что при эксплуатации сеялки и случайном изменении внешних условий сеялка будет обеспечивать минимум тягового сопротивления.

Результаты оптимизации параметров сеялки по условию минимума тягового сопротивления целесообразно объединить с результатами проведенной ранее оптимизации по условиям максимума качества заделки семян. На рисунке 4.13, г построено пересечение областей минимального тягового сопротивления и максимального качества заделки семян (область пересечения выделена черным цветом). Комплексный учет критериев тягового сопротивления и качества заделки семян позволяет определить окончательные оптимальные параметры сошника: оптимальная глубина хода сошника составляет 0,0105 ... 0,0125 м, оптимальный угол вхождения сошника в почву составляет 0,14486232792 радиан (8.3 градусов) ... 0,1745329252 радиан (10 градусов). При этом сошник обеспечивает тяговое сопротивление менее 0,2 кН, степень перемешивания пласта менее 10 %, степень пропуска пласта более 90 %, разброс высоты пласта менее 2,5 мм.

Таким образом, обобщены результаты компьютерных, лабораторных и полевых экспериментов, исключены вариативные факторы, определены оптимальные параметры сошника.

#### 4.4 Выводы

1. Полученные данные в лабораторных условиях позволяют определить оптимальные углы вхождения сошника в почву при движении сошника и обосновать влияние параметров сошника на работу сеялки. При угле установки  $0,1920$  рад и глубине  $0,005$  м тяговое усилие составит  $7,8$  Н.

2. Анализ зависимостей средних тяговых сопротивлений от глубины обработки почвы показал, что минимальное тяговое усилие сошника наблюдается при всех углах вхождения сошника в почву при глубине обработки  $0,01$  м ( $1$  см), кроме угла вхождения равном  $0.20943951024$  радиан ( $12$  градусов), при котором минимальное тяговое усилие при глубине  $0,014$  м ( $1,4$  см).

3. Анализ зависимостей максимальных тяговых сопротивлений от глубины обработки почвы показал, что минимальное тяговое усилие сошника наблюдается только при углах вхождения сошника в почву равных  $0.19198621772$  радиан ( $11$  градусов),  $0.24434609528$  радиан ( $14$  градусов) и  $0.2617993878$  радиан ( $15$  градусов) при глубине обработки  $0,01$  м ( $1$  см), при углах вхождения равном  $0.20943951024$  радиан ( $12$  градусов),  $0.22689280276$  радиан ( $13$  градусов) минимальное тяговое усилие при глубине  $0,005$  м ( $0,5$  см).

4. Комплексный учет критериев тягового сопротивления и качества заделки семян позволяет рекомендовать следующие оптимальные параметры сошника: глубина хода сошника  $0,0105 \dots 0,0125$  м, угол вхождения сошника в почву  $0,14486232792$  радиан ( $8.3$  градусов)  $\dots 0,1745329252$  радиан ( $10$  градусов). При этом сошник обеспечивает тяговое сопротивление менее  $0,2$  кН, степень перемешивания пласта менее  $10$  %, степень пропуска пласта более  $90$  %, разброс высоты пласта менее  $2,5$  мм.

## 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА МАШИНЫ

### 5.1 Оценка работоспособности экспериментального образца сошника, установленного на серийную сеялку СТВ-2

На площади учебно-опытного лесхоза ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова были проведены полевые испытания разработанного сошника лесопитомниковой сеялки смонтированного на серийный агрегат СТВ-2 (рисунок 5.1.)



а- разработанный сошник; б – стандартный сошник

Рисунок 5.1 – Сеялка СТВ-2, оснащенная разрабатываемым сошником

В ходе лабораторных испытаний на стенде проводилась имитация работы сошника без учета ряда основных показателей, полевые испытания включали наиболее полный технологический цикл проведения высевающих

работ. Производился хронометраж основных операций работы лесной сеялки и определялась производительность машинно-тракторного агрегата для технико-экономического обоснования проектируемого образца.

Лесовосстановительные работы проходят в соответствии с установленными нормами труда и применяемых средств труда, получаемый лесопосадочный материал поступает в реализацию только через некоторое время после высева. В связи с этим расчет экономической эффективности от разработанного сошника производился по расходам на создание орудия труда и с учетом затрат на посев лесных семян.

Полученные показатели экономической эффективности приведены как для базовой конструкции, так и для разработанной конструкции сошника лесопитомниковой сеялки.

Первичные данные, используемые в ходе проведения расчетов занесены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Первичные данные, используемые в ходе проведения расчетов

Наименование показателя		Ед. изм.	Базовая модель	Проектная модель
Цена орудия	$\underline{C_o}$	руб.	100000	110 000
Часовая производительность орудия	$\underline{P_{\text{ч}}}$	пог. км/час	5	6
Время смены	$\underline{T_{\text{см}}}$	час	8	8
Число смен	$n$		1	1
Годовая загрузка орудия	$\underline{D}$	дни	16	16
Цена трактора (МТЗ-82)	$\underline{C_{\text{т}}}$	руб.	1900000	1900000
Годовая занятость трактора на всех видах работ	$\underline{t_{\text{т}}}$	час	1350	1350
Количество обслуживающего персонала/разряд	$m$	чел/разряд	1/v	1/v
Часовая тарифная ставка 1 разряда	$\underline{T_{\text{Сч}}}$	руб.	33,5	33,5
Коэффициент, учитывающий надбавки и доплаты	$K_d$		2	2
Дополнительная зарплата	$\underline{O_d}$	%	10	10
Взносы на обязательное	$\underline{O_c}$	%	22	22

Окончание таблицы 5.1

пенсионное страхование				
Отчисления на обязательное медицинское страхование		%	5,1	5,1
Платежи в страховой фонд		%	2,9	2,9
Отчисления по травматизму	$O_T$	%	0,2	0,2
Отчисления на амортизацию:		%		
- по орудию	$\frac{H_{ao}}{H_{ar}}$		14,3	14,3
- по трактору			25	25
Отчисления на ТО и ремонт:		%		
- по орудию	$\frac{H_{то}}{H_{тр}}$		1 (23)	1 (23)
- по трактору			5 (39)	5 (39)
Комплексная цена нефтепродуктов	$P$	руб.	53,60	53,60
Расход горючего на единицу выработки	$q$	кг	1,16	1,16
Нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений	$E_H$		0,15	0,15

Коэффициент экономической эффективности примем в размере 15%, что соответствует средним ставкам процента по кредитам и займам. Такое значение позволяет обосновать экономическую целесообразность инвестирования в создание нового агрегата в сравнении с инвестированием в банковской сфере. Расчет экономического эффекта от внедрения нового сошника лесопитомниковой сеялки занесены в Приложение Д.

Годовой экономический эффект от внедрения лесопитомниковой сеялки с новым разработанным сошником при посеве семян сосны обыкновенной (в сравнении со штатным сошником) составит 162155,52 руб., при этом экономическая эффективность инвестирования в создание нового орудия составит 14,4%, что подтверждает целесообразность его применения на практике.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Анализ существующих конструкций сошников, используемых для высева мелких лесных семян, применяемых для высева сельскохозяйственных и лесных семян, включают несколько операций, выполняемые отдельными рабочими органами, усложняющими конструкцию и увеличивающими габариты сеялки и энергоёмкость процесса посева семян. Разработанный способ и устройство для посева семян исключают необходимость челночного перемещения верхнего подсушенного слоя почвы в горизонтальной плоскости, а заделка посевной борозды с размещёнными на дне посевной борозды семенами производится в результате свободного опускания поднятого вырезанного слоя почвы под действием собственной силы тяжести без перемешивания почвенных слоёв.

2. Разработана компьютерная программа для моделирования движения в почве сошника лесной сеялки для питомников, учитывающая физические свойства почвы, конструктивные и технологические параметры сошника. Получены зависимости влияния глубины хода сошника на степень перемешивания пласта, степень пропускания пласта и разброс высоты пласта. При слишком большой глубине хода сошника (0,020 ... 0,025 м) степень перемешивания пласта достаточно низка (6 ... 7 %), однако слишком низка степень пропускания пласта (74 ... 86 %) из-за сгуживания почвы перед сошником и слишком велика неоднородность высоты пласта (4,6 ... 7,3 мм).

3. Оптимальная глубина хода сошника составляет 0,010 ... 0,015 м, при этом достаточно низка степень перемешивания (7,2 ... 9,5 %), достаточно высока степень пропускания пласта (94 ... 95 %) и достаточно мал разброс высоты пласта (2,0 ... 2,2 мм). Оптимальный угол вхождения составляет около 0.1745329252 радиан (10 градусов). При этом обеспечивается

минимальная степень перемешивания около 8 %, максимальная степень пропускания пласта 89 % и наилучшая однородность высоты пласта (разброс составляет около 2 мм). Оптимальная длина сошника составляет 0,08 ... 0,12 м. При этом обеспечивается степень перемешивания пласта не более 9 %, степень пропускания пласта не менее 94 %, разброс высоты пласта не более 2,0 мм.

4. По результатам двухфакторной оптимизации наивысшее качество заделки семян обеспечивается при глубине хода сошника 0,011 ... 0,014 м, угле вхождения сошника 0.13962634016 радиан (8 градусов) ... 0.19198621772 радиан (11 градусов). При этом обеспечивается степень перемешивания пласта менее 10 %, степень пропускания пласта более 90 %, разброс высоты пласта менее 2,5 мм.

5. Разработанная имитационная модель на основе 3D моделирования позволяет определить реакции в местах соединения звеньев подвески сошника. При возмущающих параметрах от действия сил сопротивления движению почвы реакции для шарнира рама-шатун составили по координатным осям в пределах  $OY \pm 40$  Н,  $OX$  0...800 Н,  $OZ$  0...150 Н соответственно. Для шарнира шатун-тяга реакции составили  $OY \pm 40$ ,  $OZ$  0...-790 Н,  $OX$  0...420 Н.

6. Для проведения экспериментальных исследований были разработаны и изготовлены лабораторный стенд и экспериментальная лесопитомниковая сеялка с новым сошником. Анализ зависимостей средних тяговых сопротивлений от глубины обработки почвы показал, что минимальное среднее тяговое усилие сошника наблюдается при всех углах вхождения сошника в почву при глубине обработки 0,008...0,01 м, при котором минимальное тяговое усилие составляет 0,15...0,18 кН. Минимальное максимальное тяговое усилие сошника при углах вхождения сошника в почву равных 0.19198621772 радиан (11 градусов), 0.24434609528 радиан (14 градусов) и 0.2617993878 радиан (15 градусов) при глубине обработки

0,008...0,01 м составляет 0,35...0,46 кН.

7. Оценка на основе критерия Стьюдента совпадения результатом моделирования и лабораторного эксперимента позволила установить, что разработанная модель адекватна экспериментальным данным с уровнем статистической надежности более 0,95.

8. Комплексный учет критериев тягового сопротивления и качества заделки семян позволяет рекомендовать следующие оптимальные параметры сошника: глубина хода сошника 0,0105 ... 0,0125 м, угол вхождения сошника в почву 0.14486232792 радиан (8.3 градусов) ... 0.1745329252 радиан (10 градусов). При этом сошник обеспечивает тяговое сопротивление менее 0,2 кН, степень перемешивания пласта менее 10 %, степень пропускания пласта более 90 %, разброс высоты пласта менее 2,5 мм. Стоимость дооснащения лесопитомниковой сеялки новым разработанным сошником при посеве мелких сыпучих семян сосны (в сравнении со штатным сошником) составит 162155,52 руб., при этом экономическая эффективность инвестирования в создание нового орудия составит 14,4%, что подтверждает целесообразность его применения в практике.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алдошин Н. В., Панов А. И., Мехедов М. А. Совершенствование конструкции фрезерной машины для нарезки гряд // Вестник Московского ГАУ им. Горячкина. 2019. № 1(89). С. 15-19.
2. Андреев, В.И. Исследования динамических процессов ротационных почвообрабатывающих машин: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. И. Андреев. - Москва, 1969. - 28 с.
3. Апажев, А.К. Основные пути повышения эффективности возделывания зерновых культур в Северо-Кавказском регионе [Текст] / А.К. Апажев // NovaInfo.Ru.– 2016.– № 43.– С. 67–69.
4. Апажев, А.К. Разработки КБГСХА в области нанотехнологий [Текст] / А.К. Апажев, М.М. Шахмурзов, М.К. Кожоков // Нанотехнологии и наноматериалы: материалы Региональной научно-методической конференции.– Нальчик: КБГУ, 2009.– С.10–11.
5. Архипов, А.С. Состояние парка посевных машин Зауралья / А.С.Архипов, С.И. Оплетаев, И.В.Ворокосов // Сто лет сибирской маслодельной кооперации: материалы междунар. научн.-практ. конф.(19-20 апреля 2007г.) – Курган: КГСХА, 2007. – В 4-х т. – Т.4. - С. 41-44
6. Беспмятнова Н.М., Колинько А.А. Сошник для разноуровневого внесения семян и удобрений // Техника в сельском хозяйстве. 2013. № 5. С. 3–4.
7. Блохин В. Н., Никитин В.В., Синяя Н. В. Рабочий орган фрезы // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 4(56). С. 39-42.
8. Богданович, П.Ф., Григорьев, Д.А., Пестис, В.К. Основы энергосбережения: Учеб. пособие. – Гродно: ГГАУ, 2007. – 174 с.

9. Бузенков, Г.М. Машины для посева сельскохозяйственных культур [Текст] / Г.М. Бузенков. – М.: Машиностроение, 1976.– 272 с.
10. Вершинин, В.Н. Обоснование параметров и режимов работы плоскорезно-ротационных рабочих органов для обработки задернелых почв: Дис. канд. техн. наук. – М., 1994. – 251 с.
11. Выращивание посадочного материала сосны обыкновенной с использованием безрешетной технологии сортирования семян / Л. Т. Свиридов, А. Д. Голев, А. И. Новиков [и др.] // Интеграция фундаментальной науки и высшего лесотехнического образования по проблемам ускоренного воспроизводства, использования и модификации древесины : матер. междунар. науч.-практ. конференции : в 2 т. – Воронеж : Воронеж. гос. лесотехн. акад., 2000. – Т. 2. – С. 284–289. ]
12. Докин Б.Д., Елкин О.В. Технологическая и техническая модернизация растениеводства Сибири // Экономика с.-х. и перерабатывающих предприятий. - 2015. - № 1. - С. 18-22.
13. Докин Б.Д., Иванов Н.М., Елкин О.В., Чекусов М.С. Альтернативные варианты технологий и технических средств для производства зерна в условиях Сибири //Достижения науки и техники в АПК. - 2015. - № 1. - С. 101-105.
14. Драпалюк, М. В. Анализ операционных механизированных технологий сепарации семян при искусственном лесовосстановлении / М. В. Драпалюк, А. И. Новиков // Лесотехнический журнал. – 2018. – Т. 8. – № 4. – С. 207–220
15. Емельянов, П. А. Теоретические и экспериментальные исследования дискового заделывающего органа лукопосадочной машины : монография / П. А. Емельянов, А. В. Сибирев, А. Г. Аксенов. – Пенза : Пензенская ГСХА, 2015. – 174 с. (ISBN : 978-5-94338-449-4)

16. Зубарев А.Г., Ларюшин Н.П., Шуков А.В. Разработка рабочих органов к зерновой сеялке для посева по ресурсосберегающим технологиям // Наука в центральной России. 2019. № 3 (39). С. 78.

17. Зыкин, Е. С. Разработка и обоснование технологии и средств механизации гребневого возделывания пропашных культур : спец. 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Зыкин Евгений Сергеевич. - Уфа, 2017. – 46 с

18. Калинин А. Б., Устровев А. А. Теоретические предпосылки и практические приемы рациональной системы обработки почвы в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2016. № 90. С. 70-78.

19. Канарев, Ф.М. Ротационные почвообрабатывающие машины и орудия. – М.: Машиностроение, 1983. – 142 с.

20. Качурин, В.В. Обоснование количества мобильных звеньев для восстановления работоспособности посевных комбинированных агрегатов: дис. ... канд.техн. наук / Качурин Виталий Владимирович. – Челябинск: ЧГАА, 2014. – 208 с

21. Комбинированные сельскохозяйственные агрегаты: Альбом справочник. – М.: Россельхозиздат, 1975. – 183 с.

22. Кормщиков, А.Д., Алешкин, А.В., Курбанов, Р.Ф., Кислицын, А.В. Моделирование рабочего процесса фрезерного сошника дернинной сеялки // Ecological aspects of mechanization: IX international Symposium. – Warsaw, 2002. - S. 180-186

23. Кормщиков, А.Д., Курбанов, Р.Ф., Кислицын, А.В. Анализ сошников сеялок для посева семян трав // Проблемы механизации и оценки технологий в сельскохозяйственном производстве: Сб. научн. тр. инженерного факультета. – Киров: Вятская ГСХА, 2001. - С. 102-110.

24. Курбанов, Р.Ф. Параметры ножа усовершенствованной конструкции почвенной фрезы сеялки СДК-2,8 / Р.Ф. Курбанов, И.Н. Ходырев // Пермский аграрный вестник: Научно-практический журнал. – 2016. – №2 (14). – С. 101- 107.

25. Курбанов, Р.Ф. Совершенствование конструкционно технологической схемы дернинной сеялки / Р.Ф. Курбанов, А.В. Созонтов, А.Н. Морозов // Тракторы и сельхозмашины. – 2012. – №9. – С. 19-21.

26. Ларюшин Н.П., Ванин Д.В., Шумаев В.В., Кирюхина Т.А. Конструкция сошника сеялки для посева зерновых культур. Нива Поволжья, 2018, № 4 (49), с. 137-143.

27. Ларюшин Н.П., Ванин Д.В., Шумаев В.В., Шуков А.В., Кирюхина Т.А. Лабораторные исследования сошника для посева зерновых культур с направителем потока и гасителем скорости семян. Наука в центральной России, 2020, № 2 (44), с. 22-29.

28. Ларюшин Н.П., Калабушев А.Н., Шумаев В.В. Основные факторы, влияющие на качественные показатели работы сошников сеялок. Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: сборник научных трудов международной научно-практической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Ф. Х. Бурумкулова. Институт механики и энергетики, 2016, с. 318-323.

29. Ларюшин Н.П., Мачнев А.В., Шумаев В.В. [и др.]. Посевные машины. Теория, конструкция, расчет. М.: Росинформагротех, 2010. 292 с.

30. Ларюшин Н.П., Шумаев В.В., Бучма А.В. Технология и средство механизации посева сельскохозяйственных культур комбинированным сошником разноуровневого внесения удобрений и распределения семян. Пенза: РИО ПГСХА, 2015. 181с.

31. Ларюшин Н. П., А. В. Мачнев, В. В. Шумаев и др Посевные машины. Теория, конструкция, расчёт: монография /. – М.: Росинформагротех, 2010. – 292 с.

32. Ларюшин, Н. П. Сеялка с комбинированными сошниками / Н. П. Ларюшин, А. В. Мачнев, В. В. Шумаев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – № 5. – С. 9-10.

33. Лопарева С.Г. Анализ конструкций сошников для подпочвенно-разбросного посева семян зерновых культур с механическим высевом / С.Г. Лопарева, Ю.Н. Мекшун, А.В. Фоминых, Д.В. Лопарев // Техническое обеспечение технологий производства сельскохозяйственной продукции: Материалы I Всероссийской научно-практической конференции. – Лесниково: Изд-во Курганской ГСХА, 2017. – С.87-91.

34. Лопарева С.Г. Исследование процесса рассева семян пассивным плоскостным рассеивателем // Современное состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса: Материалы международной научно-практической конференции 27-28 апреля 2016 г. – Курган: КГСХА, 2016. – С. 456-459.

35. Лопарева С.Г. Лаповый сошник с двухплоскостным распределителем семян / Лопарева С.Г., Мекшун Ю.Н., Родионов С.С., Архипов А.С., Лопарев Д.В. // Технические науки - агропромышленному комплексу России: Материалы международной научно-практической конференции (Челябинск, 2017). Под ред. проф., д-ра с.-х. наук М.Ф. Юдина. – Челябинск: ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ, 2017. – С. 196-202.

36. Лопарева С.Г. Применение сошника для подпочвенно-разбросного посева семян как путь увеличения объемов производства зерновых культур / С.Г. Лопарева, Р.С. Рахимов, И.И. Манило // Достижения науки - агропромышленному производству // Материалы LIV международной научно-технической конференции. – Челябинск: Изд-во Челябинской ГАА, 2015. – Ч.2.– С. 234-240.

37. Лопарева С.Г. Сошник для подпочвенно-разбросного посева семян как эффективный элемент ресурсосберегающих технологий производства

зерновых культур/ С.Г. Лопарева, Р.С. Рахимов, И.И. Манило // Зауральский научный вестник. – 2015. – № 1 (7). – С. 48-50.

38. Манило, И.И. Сошник для разбросного посева семян зерновых культур: прошлое, настоящее и будущее / И.И. Манило, С.Г.Лопарева, Ю.Н. Мекшун // Вестник Курганской ГСХА . - 2014. - №3(11). - С. 76-79

39. Манило, И.И. Сошник для разбросного посева семян зерновых культур как эффективный элемент решения проблемы адаптивной экологии / И.И. Манило, С.Г.Лопарева // Современная наука – агропромышленному производству: матер. междунар. научн.-практ. конф. – Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2014. - В 2-х т. – Т.2. - С. 174-178.

40. Маслов, Г.Г. Оценка технического уровня зерновых сеялок и посевных комплексов / Г.Г.Маслов, В.Н.Плешаков // Техника в сельском хозяйстве.- 2000. - №6. - С. 19-22.

41. Мачнев А.В., Ларин М.А. Сошник с направителем с разделителем семян для посева зерновых культур // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2012. № 7. С. 42.

42. Мачнев, А.В. Обзор и анализ конструктивных схем сошников зерновых сеялок / А.В. Мачнев, М.А. Ларин // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: Сб. мат. Всерос. научно-практ. конф. – Пенза: РИО ПГСХА, 2010. – 251с.

43. Мекшун Ю. Н., Лопарева С. Г., Родионов С. С. Изучение процесса взаимодействия зерновки с наклонным отражателем // Вестник Курганской ГСХА. – 2016. – № 3 (19). – С. 71-73.

44. Милюткин, В. А. Эффективность комбинированного почвообрабатывающе-посевного агрегата АУП – 18 // В. А. Милюткин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1996. – № 3. – С.5-7.

45. Оводов, А. В. Качество древесины сосны в насаждениях, созданных посевом и посадкой : специальность 06.03.01 «Лесные культуры, селекция, семеноводство» : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Оводов Александр

Владимирович. – Архангельск, 2010. – 17 с.

46. Огрызков Е.П., Огрызков В.Е., Огрызков П.В. Теория нового технологического процесса сошника / Техника в сельском хозяйстве. – 2003. – №5. – С.36-37

47. Пат. на полезн. модель № 179958 Широкозахватная стерневая сеялка для посева сельскохозяйственных культур / С. Д. Шепелёв, И. Н. Кравченко, Е. Н. Кравченко ; опубл. 29.05.2018.

48. Пат. на полезную модель 165587 РФ, МПК А 01 С 7/20. Сошник для подпочвенно-разбросного посева / А. А. Архипов, С. Г. Лопарева, Ю. Н. Мекшун, С. И. Оплетаев; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное учреждение высшего образования Курганская государственная сельскохозяйственная академия им. Т. С. Мальцева. – № 2016111078; Заявл. 24.03.2016; опубл. 27.10.2016. – 2 с.

49. Патент РФ № 2137325, А 01 В 33/10. Рабочий орган почвообрабатывающей фрезы / В.И. Мяленко, А.Б. Колмагоров и др. Опубл. 20.09.1999 г. – 8 с.

50. Патент РФ № 2350064,, МПК А01С 7/00 (2006.01) Способ посева зерновых культур с внесением минеральных удобрений и устройство для его осуществления / Н. Ф. Скурятин, С. В. Мерецкий, А. Н. Скурятин – опубл. 27.03.2009. Бюл № 9

51. Патент РФ № 2400040, А 01 С 7/00. Сеялка для полосного посева семян трав в дернину / А.Д. Кормщиков, Р.Ф. Курбанов, А.В. Созонтов, Г.В. Широков, А.Н. Морозов. Опубл. 27.09.2010 г. Бюл. № 27. – 8 с.

52. Патент РФ № 2628440, МПК А01С 7/00. Сеялка для полосного посева семян трав в дернину / Р.Ф. Курбанов, В.Е. Сайтов, И.Н. Ходырев, А.В. Созонтов. Опубл. 16.08.17. Бюл. № 23. – 7 с.

53. Патент РФ №165587, МПК А01С 7/20. Сошник для подпочвенно-разбросного посева / В.С. Архипов, С.Г. Лопарева, Ю.Н. Мекшун, С.И. Опле-

таев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Курганская ГСХА им. Т.С. Мальцева. № 2016111078/13; опубл. 27.10.2016. Бюл. №30.

54. Петровец В.Р. Комбинированный однодисковый сошник с симметрично расположенными двухсторонними ребрами бороздкообразователями и нулевым углом атаки. Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова, 2016, № 3, с. 137.

55. Правительство РФ. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года : распоряжение № 1989-р от 20.09.2018. URL: <http://static.government.ru/media/files/cA4eYSe0MObgNpm5hSavTdIxID77KCTL.pdf> (accessed: 30.01.2020).

56. Пяткин А.А. Конструкция сеялки-культиватор ССВ-3,5 с приспособлением для посева семян трав / А.А. Пяткин, Н.П. Ларюшин, А.В. Поликанов // Нива Поволжья. – 2011. – №3. – С. 75–79

57. Ресурсосберегающая технология и комплекс машин для производства зерновых и кормовых культур в острозасушливых условиях / Н. К. Мазитов, Я. П. Лобачевский, Р. С. Рахимов, Н. Т. Хлызов // Материалы LIII междунар. науч.-техн. конф. «Достижения науки – агропромышленному производству». Челябинск, 2014. С. 190–198.

58. Сидорченко Д. В. Анализ существующих типов пневмосистем сеялок и пути их совершенствования // Материалы LIV междунар. науч.-техн. конф. «Достижения науки – агропромышленному производству». Челябинск : ЧГАА, 2015. Ч. II. 327 с.

59. Созонтов, А.В. Повышение эффективности многокомпонентного полосного посева семян многолетних трав путем совершенствования конструктивно-технологической схемы дерниной сеялки // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики. Материалы VII Международной науч.-практ. конф. «Наука-Технология-Ресурсосбережение», посвященной 60-летию инженерного факультета: Сб. науч. тр. – Киров: ФГБОУ ВПО Вятская ГСХА, 2015. – Вып. 16. – С. 159-164.

60. Созонтов, А.В. Повышение эффективности стерневого посева семян многолетних трав и зерновых культур путем совершенствования рабочих органов дернинной сеялки // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики.: Материалы X Междунар. науч.-практ. конф. «Наука-Технология-Ресурсосбережение», посвящ. 65-летию инженерного факультета Вятской ГСХА. - Киров: Вятская ГСХА, 2017. – Вып. 18. – С. 281-284.

61. Сохранность и рост культур сосны, созданных посадочным материалом с закрытой корневой системой в условиях Карелии / А. И. Соколов, В. А. Харитонов, А. Н. Пеккоев, Т. И. Кривенко // Известия вузов – Лесной журнал. – 2015. – № 6 (348). – С. 46–56.

62. Структурная оценка энергосберегающей технологии возделывания зерновых культур и рабочих органов посевных машин / Н.П. Ларюшин, А.В. Мачнев, М.А. Ларин, А.Н. Хорев // Нива Поволжья. – 2011. – №2. – С. 72-79.

63. Сысуев В. А., Дёмшин С. Л., Черемисинов Д. А., Доронин М. С. Повышение качества полосного посева семян трав в дернину. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;(5 (60)):63-68

64. Сысуев В. А., Дёмшин С. Л., Черемисинов Д. А., Доронин М. С. Способ полосного посева семян трав в дернину и сеялка для его осуществления: пат. №2641073 Российская Федерация. №2016108377: заяв. 09.03.2016, опубл. 15.01.2018. Бюл. №2. 11 с.

65. Сысуев В. А., Демшин С. Л., Черемисинов Д. А., Доронин М. С. Теоретическое обоснование основных параметров сошниковой группы дернинной сеялки полосного посева. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(3):321-331. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.321-331>

66. Технология и средство механизации посева сельскохозяйственных культур комбинированным сошником разноуровневого внесения удобрений и распределения семян. Теория, конструкция, расчет: монография / Н.П. Ларюшин, В.В. Шумаев, А.В. Бучма. - Пенза: РИО ПГСХА, 2015. - 181 с.

67. Устройство для посева семян зерновых культур [Текст] : пат. RU 2511237 Российская Федерация, МПК7 A01C 7/00, A01C 7/20. / М.Х. Каскулов, А.Х. Габаев, А.К. Апажев, И.А. Атмурзаев, Ш.М. Гаев, А.Ш. Тешев, В.Х. Мишхожев; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Кабардино-Балкарская государственная сельскохозяйственная академия им. В.М. Кокова». – № 2012153090/13; заявл. 07.12.2012; опубл. 10.04.2014, бюл. № 10.– 4 с.: ил.

68. Халанский, В.М. Сельскохозяйственные машины [Текст] / В.М. Халанский, И.В. Горбачёв. - М.: КолосС, 2006. - 624 с.

69. Цымерман, М.З. Рабочие органы почвообрабатывающих машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 295 с.

70. Черемисинов Д.А., Доронин М.С. К вопросу разработки технологической схемы сеялки для посева семян трав в дернину // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве»: Материалы III Междун. научн.-практ. конфер. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2017. С. 406-410.

71. Шевченко А. П., Бегунов М. А., Коваль В. С. Теоретические исследования процесса посева семян льна-долгунца. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2017;(3 (27)):187-196.

72. Шумаев В.В., Шуков А.В., Калабушев А.Н. Конструкция и анализ работы сошниковой группы сеялок. Актуальные проблемы аграрной науки и пути их решения: сборник научных трудов. Кинель: РИЦ СГСХА, 2016, с. 323-327.

73. Шумаев, В. В. Повышение качества посева зерновых культур сеялкой-культиватором с разработкой комбинированного сошника: дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / В. В. Шумаев. – Пенза, 2009. – 139 с.

74. Эффективность подсева и прямого посева трав на сенокосах и пастбищах / Н.Н. Лазорев, А.Д. Воронин и др.// Рекомендации деп. Во ВНИИ-ТЭИагропром, 1987. - №5. – С. 51-54.

75. Яковлев Н.С., Колинко П.В. Перемещение почвы кольцом кольчатого катка // С.-х. машины и технологии. - 2013. - № 3. - С. 32-34.

76. Amounts of logging residues affect planting microsites: A manipulative study across northern forest ecosystems / A. Trottier-Picard [et al.] // For. Ecol. Manage. – 2014. – Vol. 312. – P. 203–215.

77. Demchuk E.V., Myalo V.V. Combine seed drill coulter. Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2014. No 1, pp. 81–83 (in Russ.).

78. Derr, H. J. Direct-seeding pines in the South / H. J. Derr, W. F. J. Mann // Agriculture Handbook. Washington: Forest Service, USDA. – 1971. – Vol. 391. – 73 p.

79. Direct Seeding Black Spruce and Jack Pine: A Field Guide for Northern Ontario / M. J. Adams [et al.]. – 2005. – 528 p.

80. Early performance of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* – a comparison between seedling size, species and geographic location of the planting site / K. Johansson [et al.] // Scand. J. For. Res. Taylor and Francis AS. – 2014. – Vol. 30. – № 5. – P. 1–39.

81. Effects of early, small-scale nitrogen addition on germination and early growth of scots pine (*Pinus sylvestris*) seedlings and on the recruitment of the root-associated fungal community Castro, D.; Schneider, A.N.; Holmlund, M.; Näsholm, T.; Street, N.R.; Hurry, V.. Forests 2021, 12, doi:10.3390/f12111589.

82. Erefur, C. Establishment of direct seeded seedlings of Norway spruce and Scots pine: Effects of stand conditions, orientation and distance with respect to shelter tree, and fertilisation / C. Erefur, U. Bergsten, M. de Chantal // For. Ecol. Manage. – 2008. – Vol. 255. – № 3–4. – P. 1186–1195.

83. Figueiredo, M.A.; Messias, M.C.T.B.; Leite, M.G.P.; Kozovits, A.R. Direct seeding in the restoration of post-mined campo rupestre: Germination and establishment of 14 native species. Flora 2021, 276–277, 151772, doi:10.1016/j.flora.2021.151772.

84. Gnusov, M.A.; Drapalyuk, M. V; Yu Druchinin, D.; Bukhtoyarov, L.D.; Ushakov, N.O.; Sibiryatkin, E. V Studies of the traction characteristics of the opener of a forestry seeder for a nursery. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 2022, 981, 042048, doi:10.1088/1755-1315/981/4/042048.

85. Guignabert, A.; Augusto, L.; Delerue, F.; Maugard, F.; Gire, C.; Magnin, C.; Niollet, S.; Gonzalez, M. Combining partial cutting and direct seeding to overcome regeneration failures in dune forests. For. Ecol. Manage. 2020, 476, 118466, doi:10.1016/j.foreco.2020.118466.

86. He, J., Li, H., Wang, Q., et al.: Powered hammering blade no-till wheat seeder for permanent raised beds. Trans. Chin. Soc. Agric. Mach. **42**(10), 51–55 (2011). (in Chinese)

87. Height-Diameter Relationships for Different Genetic Planting Stock of Loblolly Pine at Age 6 / S. Egbäck [et al.] // For. Sci. Society of American Foresters. – 2015. – Vol. 61. – № 3. – P. 424–428. ]

88. J.G. McLeod, F.B. Dyck, C.A. Campbell, C.L. Vera Evaluation of four zero-tillage drills equipped with different row openers for seeding winter wheat in the semi-arid prairies Soil Till. Res., 25 (1) (1992), pp. 1-16

89. Jäärats, A. Growth parameters of coniferous planting stock influenced by principal growing technologies in Estonia / A. Jäärats, A. Sims, H. Seemen // Scand. J. For. Res. – 2010. – Vol. 25. – № sup8. – P. 92–100. ]

90. Kankaanhuhta, V. Variation in the results of Norway Spruce planting and Scots pine direct seeding in privately owned forests in Southern Finland / V. Kankaanhuhta, T. Saksa, H. Smolander // Silva Fenn. – 2009. – Vol. 43. – № 1. – P. 51–70.

91. Kem A.A. Coulter for multi-level fertilization and two-line sowing of grain. Scientific and technical support of the agro-industrial complex of Siberia: materialy Mezhdunar. nauch.-tekhnich. konf. Novosibirsk [Materials of the Intern. scientific tech. conf. Novosibirsk], 2017. Vol. 1, pp. 143–148 (in Russ.).

92. Kem A.A., Miklashevich V.L., ChEkusov M.S. Coulter for two-line sowing of grain crops with multi-level application of mineral fertilizers. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2017. No 2, pp. 105–111 (in Russ.).

93. Kihara, J., Bationo, A., Mugendi, N.D., et al.: Conservation tillage, local organic resources and nitrogen fertilizer combinations affect maize productivity, soil structure and nutrient balances in semi-arid Kenya. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* **90**, 213–225 (2011)

94. Leverkus, A.B.; Lázaro González, A.; Andivia, E.; Castro, J.; Jiménez, M.N.; Navarro, F.B. Seeding or planting to revegetate the world's degraded land: systematic review and experimentation to address methodological issues. *Restor. Ecol.* 2021, 29, doi:10.1111/rec.13372.

95. Liao, Q., Gao, H., Shu, C.: Present situations and prospects of anti-blocking technology of no-tillage planter. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* **20**(1), 108–112 (2004). (in Chinese)

96. Lopareva S.G., Mekshun Yu.N., Ovchinnikov D.N., Loparev D.V. The results of theoretical research on seed distribution by coulter drills with a twolayered seed distributor // *BRITISH JOURNAL OF INNOVATION IN SCIENCE AND TECHNOLOGY*. – 2017. – Vol.2. – No. 3. – P.13-19.

97. Luoranan, J. Autumn versus spring planting: the initiation of root growth and subsequent field performance of Scots pine and Norway spruce seedlings / J. Luoranan // *Silva Fenn.* – 2018. – Vol. 52. – № 2.

98. Luoranan, J. Field performance of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings planted in disc trenched or mounded sites over an extended planting season / J. Luoranan, R. Rikala // *New For.* – 2013. – Vol. 44. – № 2. – P. 147–162.

99. Masarei, M.; Guzzomi, A.L.; Merritt, D.J.; Erickson, T.E. Factoring restoration practitioner perceptions into future design of mechanical direct seeders for native seeds. *Restor. Ecol.* 2019, 27, 1251–1262, doi:10.1111/rec.13001.

100. Nogtikov A.A., Bychkov V. P. The development of structures of combined working bodies of sowing machines. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2002. No 1, pp. 25–26 (in Russ.).

101. Pansing, E.R.; Tomback, D.F. Survival of whitebark pine seedlings grown from direct seeding: Implications for regeneration and restoration under climate change. *Forests* 2019, 10, doi:10.3390/f10080677.

102. Petuhov D.A., CHaplygin M.E., Nazarov A.N. Innovative projects, new technologies and equipment. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2013. No 4, pp. 10–14 (in Russ.)

103. Post-fire ponderosa pine regeneration with and without planting in Arizona and New Mexico / J. Ouzts [et al.] // *For. Ecol. Manage.* Elsevier. – 2015. – Vol. 354. – P. 281–290.

104. Reque, J. A. Designing acorn protection for direct seeding of quercus species in high predation areas / J. A. Reque, E. Martin // *For. Syst.* Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentacion. – 2015. – Vol. 24. – № 1. – P. 018.

105. Shaw, N.; Barak, R.S.; Campbell, R.E.; Kirmer, A.; Pedrini, S.; Dixon, K.; Frischie, S. Seed use in the field: delivering seeds for restoration success. *Restor. Ecol.* 2020, 28, S276–S285, doi:10.1111/rec.13210.

106. Sudrajat, D.J.; Rustam, E. Reforestation by direct seeding of *Gmelina arborea* using seed briquettes: Composition, size and site preparation, and sowing date. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 2020, 533, 012014, doi:10.1088/1755-1315/533/1/012014.

107. Sysuev, V.A., Andreev, V.L., Demshin, S.L. *et al.* Improving seeders for band sowing grass seeds in sod. *Russ. Agricult. Sci.* **36**, 218–220 (2010). <https://doi.org/10.3103/S1068367410030195>

108. Villalobos, A.; Schlyter, F.; Olsson, G.; Witzell, J.; Löf, M. Direct seeding for restoration of mixed oak forests: Influence of distance to forest edge, predator-derived repellent and acorn size on seed removal by granivorous rodents. *For. Ecol. Manage.* 2020, 477, 118484, doi:10.1016/j.foreco.2020.118484.

109. Wang, J.; Wang, G.G.; Zhang, T.; Yuan, J.; Yu, L.; Zhu, J.; Yan, Q. Use of direct seeding and seedling planting to restore Korean pine (*Pinus koraiensis* Sieb. Et Zucc.) in secondary forests of Northeast China. *For. Ecol. Manage.* 2021, 493, doi:10.1016/j.foreco.2021.119243.
110. Ward, J. S. Effects of planting stock quality and browse protection-type on height growth of northern red oak and eastern white pine / J. S. Ward, M. P. Gent, G. R. Stephens // *For. Ecol. Manage.* – 2000. – Vol. 127. – № 1–3. – P. 205–216.
111. Welty, L.E., P.F. Hensleigh, and V.R. Stewart. 1983. Methods for sodseeding of small-seeded legumes and grasses. *Montana Agr. Exp. Sta. Bull.* 752. Bozeman, Mont.
112. Wennström, U. Seedling establishment and growth after direct seeding with *Pinus sylvestris*: effects of seed type, seed origin, and seeding year / U. Wennström, U. Bergsten, J.-E. Nilsson // *Silva Fenn.* – 2007. – Vol. 41. – № 2. – P. 299–314.
113. Winsa, H. Effects of seed invigoration and microsite preparation on seedling emergence and establishment after direct sowing of *Pinus sylvestris* L. at different dates / H. Winsa, K. Sahlén // *Scand. J. For. Res.* – 2001. – Vol. 16. – № 5. – P. 422–428.
114. Y. Chen, F. Monero, D. Lobb, S. Tessier, C. Cavers Effects of six tillage methods on residue incorporation and crop performance under a heavy clay soil *Trans. ASABE*, 47 (4) (2004), pp. 1003-1010
115. Yao, Z., Gao, H., Wang, X., et al.: Design and experiment on 2BMX-5 no-till wheat-maize seeder. *Trans. Chin. Soc. Agric. Mach.* **39**(12), 64–68 (2008). (in Chinese)
116. Zhang, X.: Study on Anti-blocking Mechanism for Wheat No-Till Planter in Annual Two Crops Region of China. China Agricultural University, Beijing (2010). (in Chinese)

117. Zhao, W., Zhang, F., Wu, J., et al.: Elastic claw anti-blocking device for no-till planting. *Trans. Chin. Soc. Agric. Mach.* **38**(3), 188–190 (2007). (in Chinese)

118. Козлов И. В., Алябьев А. Ф. Исследование почвообрабатывающих дисков, совмещающих функции рабочего органа и движителя [Текст] / Козлов И. В., Алябьев А. Ф. // *Транспортные системы.* – 2020. – №. 3. – С. 20-25.

119. Алябьев А. Ф. Опыт создания культур ели при дискретной обработке почвы орудием ОДП-0, 6 [Текст] / Алябьев А. Ф. // *Лесной вестник/Forestry bulletin.* – 2015. – Т. 19. – №. 6. – С. 28-33.

120. Котов А. А., Алябьев А. Ф. Моделирование потерь рабочей жидкости из покрытия контактора при химическом уходе за лесными культурами [Текст] / Котов А. А., Алябьев А. Ф. // *Лесной вестник/Forestry bulletin.* – 2019. – Т. 23. – №. 2. – С. 141-146.

121. Алябьев А. Ф. Адаптация показателей оценки эффективности технологических комплексов в лесном и сельском хозяйстве [Текст] / Алябьев А. Ф. // *Техника и оборудование для села.* – 2017. – №. 7. – С. 44-47.

122. Алябьев А.Ф., Клубничкин В.Е., Клубничкин Е.Е., Котов А.А. Влияние шага грунтозацепов на тяговые свойства гусеничного движителя [Текст] / Алябьев А.Ф., Клубничкин В.Е., Клубничкин Е.Е., Котов А.А. // *Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева.* 2019. № 1 (124). С. 138-145.

123. Котов А.А., Алябьев А.Ф. Моделирование потерь рабочей жидкости из покрытия контактора при химическом уходе за лесными культурами [Текст] / Котов А.А., Алябьев А.Ф. // *Лесной вестник. Forestry Bulletin.* 2019. Т. 23. № 2. С. 141-146.

124. Алябьев А.Ф., Котов А.А., Клубничкин В.Е., Клубничкин Е.Е. Влияние угла трения трака о почву на коэффициент сцепления трака [Текст] / Алябьев А.Ф., Котов А.А., Клубничкин В.Е., Клубничкин Е.Е. // *Лесной вестник. Forestry Bulletin.* 2019. Т. 23. № 6. С. 75-80.

125. Алябьев А.Ф., Калинин С.Ю., Котов А.А. Исследование взаимодействия гусеницы трактора с почвой [Текст] / Алябьев А.Ф., Калинин С.Ю., Котов А.А. // Техника и оборудование для села. 2017. № 6. С. 18-21

126. Алябьев А.Ф. Адаптация показателей оценки эффективности технологических комплексов в лесном и сельском хозяйстве [Текст] / Алябьев А.Ф. // Техника и оборудование для села. 2017. № 7. С. 44-47.

127. Котов А.А., Алябьев А.Ф. Исследование экологической безопасности уничтожения нежелательной древесной растительности химическим методом [Текст] / Котов А.А., Алябьев А.Ф. // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2017. Т. 21. № 4. С. 19-24.

ПРИЛОЖЕНИЕ А– Энергетические данные работы сошника лесопитомниковой сеялки, полученные в ходе лабораторного эксперимента

Энергетические данные работы сошника лесопитомниковой сеялки, полученные в ходе лабораторного эксперимента при угле вхождения сошника в почву 0,1745329252 радиан (10 градусов)

Таблица А1 - Энергетические данные работы сошника лесопитомниковой сеялки(10 градусов)

№	Время (сек)	0,005 (м)	0,01 (м)	0,015 (м)	0,02 (м)
1	0	0	0	0	0
2	0,1	0,0663	0,16009	0,84683	0,15504
3	0,2	0,18143	1,23156	2,86885	0,36747
4	0,3	0,40216	2,9594	4,9925	0,82132
5	0,4	1,06955	5,38161	6,77098	1,35017
6	0,5	2,66969	7,55325	9,73963	4,89264
7	0,6	4,12235	10,70739	12,59048	9,16672
8	0,7	4,90098	12,69669	14,76977	10,835
9	0,8	5,87952	13,69543	14,12251	14,64277
10	0,9	7,13747	14,69543	15,18735	16,13487
11	1	8,80071	15,69543	16,16108	16,84262

Энергетические данные работы сошника лесопитомниковой сеялки, полученные в ходе лабораторного эксперимента при угле вхождения сошника в почву 0,19198621772 радиан (11 градусов)

Таблица А2 - Энергетические данные работы сошника лесопитомниковой сеялки(11 градусов)

№	Время (сек)	0,005 (м)	0,01 (м)	0,015 (м)
0	0	0	0	0
0,1	0,16925	1,3858	0,20348	0,1331
0,2	0,2956	3,65312	0,48421	0,177
0,3	0,35155	5,0127	1,58069	0,3124

Окончание таблицы А2

0,4	0,72836	6,25668	3,96055	0,3863
0,5	1,21839	8,07084	6,22453	0,4919
0,6	2,32702	8,32998	9,13222	1,8146
0,7	3,88742	8,60664	11,085	3,6894
0,8	5,8181	10,57618	11,687	9,3337
0,9	6,97388	12,40938	12,23683	14,1767
1	7,71367	13,00868	13,4644	22,1828

Энергетические данные работы сошника лесопитомниковой сеялки, полученные в ходе лабораторного эксперимента при угле вхождения сошника в почву 0,20943951024 радиан (12 градусов)

Таблица А3 - Энергетические данные работы сошника лесопитомниковой сеялки(12 градусов)

<b>№</b>	<b>Время (сек)</b>	<b>0,005 (м)</b>	<b>0,01 (м)</b>	<b>0,015 (м)</b>
0	0	0	0	0
0,1	0,23139	0,29407	0,15548	0,228
0,2	0,53901	0,39864	0,76024	0,338
0,3	1,51342	1,17339	2,66027	0,2169
0,4	3,19339	2,31987	6,04073	1,0842
0,5	3,84714	3,54192	7,77841	2,2492
0,6	4,19823	5,88699	9,04594	11,2059
0,7	5,86818	8,33571	13,35879	14,3728
0,8	7,57021	9,249	15,84999	16,7337
0,9	8,32031	9,5011	16,67966	18,5059
1	7,80845	9,23271	17,95598	20,2084

Энергетические данные работы сошника лесопитомниковой сеялки, полученные в ходе лабораторного эксперимента при угле вхождения сошника в почву 0,22689280276 рад (13 град)

Таблица А4 - Энергетические данные работы сошника лесопитомниковой сеялки(13 градусов)

№	Время (сек)	0,005 (м)	0,01 (м)	0,015 (м)
0	0	0	0	0
0,1	0,25425	0,14082	0,00608	0,1656
0,2	0,38588	0,46085	0,16596	0,49
0,3	0,42992	1,08146	0,60545	0,9785
0,4	0,61346	2,81208	1,91833	0,5704
0,5	1,07999	6,01608	3,99119	4,5556
0,6	2,23435	7,59616	7,85684	9,4725
0,7	4,03893	9,25243	9,84471	9,7963
0,8	6,95959	12,38251	11,97372	16,7455
0,9	8,10871	12,88251	12,99437	19,3314
1	8,16598	14,38251	13,96388	21,7119

Энергетические данные работы сошника лесопитомниковой сеялки, полученные в ходе лабораторного эксперимента при углу вхождения сошника в почву 0.24434609528 радиан (14 градусов)

Таблица А5 - Энергетические данные работы сошника лесопитомниковой сеялки(14 градусов)

№	Время (сек)	0,005 (м)	0,01 (м)	0,015 (м)
0	0	0		0
0,1	0,45606	0,20835		0,3219
0,2	0,30482	0,13125		0,9162
0,3	1,40489	0,27139		0,9237
0,4	2,63923	1,39863		3,2073
0,5	4,45755	3,16985		8,6767
0,6	6,68257	4,80194		10,2889
0,7	8,7438	7,92373		16,6074
0,8	8,96378	10,14881		17,1666
0,9	9,80601	11,42936		20,9342
1	9,90119	11,42936		22,1666

Энергетические данные работы сошника лесопитомниковой сеялки, полученные в ходе лабораторного эксперимента при углу вхождения

сошника в почву 0.2617993878 радиан (15 градусов)

Таблица А6 - Энергетические данные работы сошника лесопитомниковой сеялки(15 градусов)

<b>№</b>	<b>Время (сек)</b>	<b>0,005 (м)</b>	<b>0,01 (м)</b>	<b>0,015 (м)</b>
0	0	0	0	0
0,1	0,50786	0,26649	0,23921	3,8847
0,2	1,26092	0,77956	0,64167	10,4588
0,3	2,53513	2,52951	1,09941	13,5056
0,4	4,02899	5,48801	4,45349	15,4195
0,5	7,18154	7,75372	8,91197	17,1488
0,6	8,75045	10,79327	10,98433	17,1666
0,7	8,93165	16,62249	11,4993	19,3314
0,8	8,28265	16,82742	10,52393	20,9342
0,9	7,72207	17,82742	14,7382	22,1666
1	8,45975	19,82742	16,8382	23,1666

ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Результаты описательной статистики  
экспериментальных исследований

Таблица Б1 - Описательная статистика при глубине хода сошника  
0,005 м.

Глубина хода сошника 0,005 м						
Угол вхождения в почву, рад	0,1745	0,1920	0,2094	0,2269	0,2443	0,2618
Среднее	0,2685	0,1565	0,2561	0,1888	0,2608	0,2051
Стандартная ошибка	0,0073	0,0100	0,0080	0,0077	0,0099	0,0078
Медиана	0,2524	0,1408	0,2563	0,1867	0,2746	0,2020
Мода	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	0,2599	#Н/Д
Стандартное отклонение	0,0746	0,1025	0,0817	0,0794	0,1018	0,0801
Дисперсия выборки	0,0056	0,0105	0,0067	0,0063	0,0104	0,0064
Эксцесс	1,9650	0,2195	0,6551	-0,4353	0,2587	0,6686
Асимметричность	0,3581	0,5976	-0,2343	0,0507	-0,2320	-0,0725
Интервал	0,5030	0,5074	0,4408	0,3494	0,5191	0,4603
Минимум	0,0000	-0,0745	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0037
Максимум	0,5030	0,4329	0,4408	0,3494	0,5191	0,4566
Сумма	28,1899	16,4345	26,8941	19,8281	27,3863	21,5402
Счет	105	105	105	105	105	105

Таблица Б2 - Описательная статистика при глубине хода сошника 0,01  
м.

Глубине хода сошника 0,01 м						
Угол вхождения в почву, рад	0,1745	0,1920	0,2094	0,2269	0,2443	0,2618
Среднее	0,1907	0,1624	0,2374	0,1923	0,2484	0,1850
Стандартная ошибка	0,0090	0,0075	0,0068	0,0088	0,0075	0,0079
Медиана	0,1898	0,1523	0,2401	0,1916	0,2526	0,1823
Мода	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д
Стандартное отклонение	0,0926	0,0767	0,0694	0,0903	0,0770	0,0810
Дисперсия выборки	0,0086	0,0059	0,0048	0,0082	0,0059	0,0066
Эксцесс	1,1637	-0,2280	2,9856	0,1644	1,7259	0,1201
Асимметричность	-0,0484	0,4315	-0,4852	-0,1521	-0,6599	0,3380
Интервал	0,6090	0,3527	0,4726	0,4326	0,4644	0,4314
Минимум	-0,1094	0,0000	-0,0016	-0,0122	0,0000	0,0000
Максимум	0,4996	0,3527	0,4711	0,4205	0,4644	0,4314
Сумма	20,0221	17,0529	24,9254	20,1964	26,0845	19,4302
Счет	105	105	105	105	105	105

Таблица Б3 - Описательная статистика при глубине хода сошника  
0,015 м.

Глубине хода сошника 0,015 м						
<b>Угол вхождения в почву, рад</b>	<b>0,1745</b>	<b>0,1920</b>	<b>0,2094</b>	<b>0,2269</b>	<b>0,2443</b>	<b>0,2618</b>
Среднее	0,2171	0,2698	0,2028	0,2526	0,2208	0,2208
Стандартная ошибка	0,0158	0,0076	0,0091	0,0098	0,0098	0,0083
Медиана	0,2762	0,2725	0,2020	0,2398	0,2366	0,2094
Мода	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д
Стандартное отклонение	0,1618	0,0775	0,0928	0,1002	0,1004	0,0849
Дисперсия выборки	0,0262	0,0060	0,0086	0,0100	0,0101	0,0072
Экссесс	-1,4372	3,0875	-0,3227	0,7365	0,9041	1,2618
Асимметричность	-0,3055	-0,2081	0,1877	0,4788	-0,5865	0,5030
Интервал	0,5170	0,5665	0,4281	0,5435	0,5269	0,5317
Минимум	-0,0223	0,0000	0,0318	0,0000	-0,0046	0,0000
Максимум	0,4947	0,5665	0,4599	0,5435	0,5223	0,5317
Сумма	22,7920	28,3323	21,2975	26,5195	23,1830	23,1829
Счет	105	105	105	105	105	105

## Приложение В - Акты внедрения в производство

### РЕКОМЕНДОВАНО:

Учебно-методической комиссией  
протокол №25 от «25» июня 2022 г.  
Председатель УМК по направлению  
«Технологические машины и  
оборудование»  
к.т.н., доц. Четверикова И.В.

УТВЕРЖДАЮ:  
Проректор по науке и инновациям  
Морковина С.С.  
«25» июня 2022 г.



### Акт

о внедрении в учебный процесс на кафедре механизации лесного хозяйства и проектирования машин разработок по кандидатской диссертации аспиранта Ушакова Н.О. на тему «Обоснование конструктивно-технологических параметров сошника лесопитомниковой сеялки для посева семян сосны обыкновенной»

Наименование разделов темы, выполненных аспирантом:

- 1) рабочий процесс сошника сеялки для подпочвенного посева мелких сыпучих семян хвойных пород в лесопитомниках, позволяющий понизить энергоемкость процесса посева семян и повысить качество посева;
- 2) физико-математические модели, описывающие процесс взаимодействия рабочих плоскостей сошника при подпочвенном посеве мелких сыпучих семян хвойных пород в лесопитомниках, позволяющие учитывать конструктивные и технологические параметры сошника новой лесной сеялки;
- 3) зависимости между динамическими и качественными показателями рабочих процессов сошника сеялки для подпочвенного посева мелких сыпучих семян хвойных пород в лесопитомниках, позволяющие оценить энергоемкость процесса и качественные показатели;
- 4) рекомендации по созданию лесопитомниковой сеялки содержащей сошник в виде П-образной скобы с вертикальными боковыми стенками и наклонным ножом, позволяющие повысить эффективность процесс посева лесных семян в лесопитомнике.

### Краткое описание результатов внедрения, конечный результат:

Внедрены в учебный процесс: патент на изобретение Способ и устройство для посева семян Бартенев Иван Михайлович, Драпалюк Михаил Валентинович, Ушаков Никита Олегович Патент на изобретение 2753663 С1, 19.08.2021; Программа для моделирования взаимодействия сошника лесопитомниковой сеялки с почвой Драпалюк Михаил Валентинович, Попиков Петр Иванович, Дручинин Дени Юрьевич, Посметьев Виктор Валерьевич, Гнусов Максим Алек-

сандрович, Ушаков Никита Олегович, Петков Александр Федорович, Журавлев Алексей Николаевич Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022614983, 28.03.2022. Заявка № 2022614816 от 28.03.2022

**Внедрение по дисциплинам:** «Теория и конструкция технологических машин и оборудования лесного хозяйства», «Проектирование машин лесного комплекса».

**Влияние на качество подготовки бакалавров, магистров и аспирантов:** результаты исследований позволяют расширить и углубить знания при изучении соответствующих дисциплин и, таким образом, повышают уровень учебного процесса и качество подготовки на примерах апробированных и внедренных в производство новых технических решений.

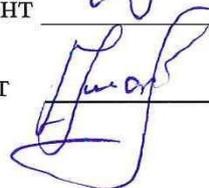
**Эффект от внедрения:** использование указанных результатов позволяет бакалаврам, магистрам и аспирантам на стадии принятия решений выполнить с наименьшими затратами сил и времени обоснование основных рабочих и конструктивных параметров, а также оценить эффективность разрабатываемых машин и орудий для лесных питомников.

Зав. кафедрой МЛХ и ПМ, к.т.н., доцент



Д.Ю. Дручинин

Ответственный исполнитель, аспирант



Н.О. Ушаков

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор УОЛ «ВГЛТУ»

Литовченко П.В.

2022 г.



## АКТ

### о внедрении законченной научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся, представитель Воронежского государственного лесотехнического университета в лице научного руководителя, доктора технических наук, профессора кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин «ВГЛТУ» Драпалюва М.В., ответственного исполнителя в лице аспиранта Ушакова Н.О. и представителя УОЛ «ВГЛТУ» в лице директора Литовченко П.В. составили настоящий акт о том, что результаты научно-исследовательской работы на тему «Обоснование конструктивно-технологических параметров сошника лесопитомниковой сеялки для посева семян сосны обыкновенной» использованы при выращивании посадочного материала в лесных питомниках УОЛ ВГЛТУ, путем использования разработанных при участии исполнителя лесопитомниковой сеялки СТВ-2, укомплектованную экспериментальным сошником для мелких семян.

Внедрение результатов исследования в виде лесной сеялки для питомников дало возможность предприятию получить ориентировочно следующий технико-экономический эффект: сеялка СТВ-2, укомплектованная экспериментальным сошником для мелких семян, обеспечивает стабильную работоспособность сошника в пределах глубины посева 5 мм и поступательной скорости движения агрегата в пределах 0,26-0,29 м/с; допускает меньшее количество не заделанных семян (15,6 против 18,5 %) и более высокую рабочую скорость (3,8 против 3,15 км/ч) по сравнению с серийными сошниками.

Суммарный годовой экономический эффект от использования одной лесопитомниковой сеялки с новым сошником, разработанной при непосредственном участии ответственного исполнителя Ушакова Н.О., составил ориентировочно 162155,52 руб.

Замечания и предложения о дальнейшей работе по внедрению комплекса машин и орудий для лесных питомников: по сеялке СТВ-2 – целесообразно повысить жесткость бункера и внедрить сеялку в серийное производство.

Научный консультант, доктор технических наук,  
профессор кафедры механизации лесного хозяйства «ВГЛТУ»

 М.В. Драпалюк

Ответственный исполнитель, аспирант кафедры  
механизации лесного хозяйства «ВГЛТУ»

 Н.О. Ушаков

«Утверждаю»  
Директор ООО  
«СТАЛЬ-СИНТЕЗ», к.т.н.

Лысыч М.Н.

20 июня 2022г.



## Акт

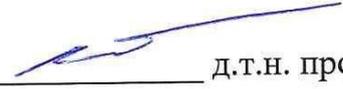
### О внедрении научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся, представитель Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова в лице руководителя научно-исследовательской (опытно-конструкторской) работы, доктора технических наук Драпалюк М.В., ответственного исполнителя в лице аспиранта кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин Ушакова Н.О. и представитель ООО «СТАЛЬ-СИНТЕЗ» в лице директора, кандидата технических наук Лысыча М.Н., составили настоящий акт о том, что результаты научно-исследовательской работы на тему «Обоснование конструктивно-технологических параметров сошника лесопитомниковой сеялки для посева семян сосны обыкновенной», выполненной на кафедре механизации лесного хозяйства и проектирования машин ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова в 2022г., использованы при проектировании и изготовлении экспериментального образца лесопитомниковой сеялки для посева семян сосны обыкновенной.

Внедрение результатов исследования дало возможность предприятию получить следующий технико-экономический эффект: за счет использования математической модели рабочего процесса лесопитомниковой сеялки для посева семян сосны обыкновенной удалось сократить сроки проектирования орудия.

Замечания и предложения по дальнейшей работе по внедрению: продолжить работу по совершенствованию сошника лесопитомниковой сеялки для посева семян сосны

#### Научный руководитель

  
\_\_\_\_\_ д.т.н. проф. Драпалюк М.В.  
(подпись)

#### Исполнитель аспирант

  
\_\_\_\_\_ Ушаков Н.О.  
(подпись)

ПРИЛОЖЕНИЕ Г- Расчет экономического эффекта от внедрения нового сошника лесопитомниковой сеялки

Порядок расчета определения основных показателей экономической эффективности:

Найдем производительность исследуемой лесопитомниковой сеялки с учетом базового и разработанного варианта сошника.

Производительность орудия за 1 час эксплуатационного времени определена по результатам испытаний с учетом средней производительности в час чистой работы и коэффициента использования эксплуатационного времени [23, 50, 57, 100].

Рассчитаем сменную производительность по формуле:

$$P_{см} = P_{ч} \cdot T_{см}, \quad (Д5.1)$$

где  $P_{ч}$  - часовая производительность орудия, .....;

$T_{см}$  - время смены, час;

$$P_{см}^{\delta} = 5 \cdot 8 = 40 \text{ пог. км/час};$$

$$P_{см}^{np} = 6 \cdot 8 = 48 \text{ пог. км/час.}$$

Рассчитаем дневную производительность по формуле

$$P_{дн} = P_{см} \cdot n, \quad (Д5.2)$$

где  $n$  - число смен, шт;

$$P_{дн}^{\delta} = 40 \cdot 1 = 40 \text{ пог. км/дн};$$

$$P_{дн}^{np} = 48 \cdot 1 = 48 \text{ пог. км/дн.}$$

Рассчитаем годовую производительность по формуле

$$P_{год} = P_{дн} \cdot D, \quad (Д5.3)$$

где  $D$  - количество дней работы орудия в году, дни.

$$P_{год}^{\delta} = 40 \cdot 16 = 640 \text{ пог. км/год};$$

$$P_{год}^{np} = 48 \cdot 16 = 768 \text{ пог. км/год.}$$

Определим капитальные вложения (для базовой и проектируемой мо-

дели):

Расчёт капитальных вложений по орудью:

$$K_o = C_o \cdot K_1 \cdot N_o, \quad (Д5.4)$$

где  $C_o$ - цена орудия, руб.,

$N_o$  - количество техники;

$K_1$ - коэффициент, учитывающий затраты на транспортировку, монтаж, установку и наладку оборудования (для оборудования, требующего монтаж  $K_1=1,2$ , для остального  $K_1=1,1$ ).

$$K_o^{\bar{o}} = 100000 \cdot 1,1 \cdot 1 = 110000 \text{ руб.};$$

$$K_o^{np} = 110000 \cdot 1,1 \cdot 1 = 121000 \text{ руб.}$$

Определение капитальных вложений по трактору:

$$K_m = C_m \cdot K_1 \cdot N_m, \quad (Д5.5)$$

где  $K_T$ - количество тракторов, ...;

$$K_m = 1900000 \cdot 1,1 \cdot 1 = 2090000 \text{ (руб.)}$$

Общие капитальные вложения:

$$K = K_o + K_m, \quad (Д5.6)$$

$$K^{\bar{o}} = 110000 + 2090000 = 2200000 \text{ руб.};$$

$$K^{np} = 121000 + 2090000 = 2211000 \text{ руб.}$$

Удельные капитальные вложения:

$$K_y = \frac{K}{P_{200}}, \quad (Д5.7)$$

$$K_y^{\bar{o}} \cong \frac{2200000}{640} = 3437,5 \text{ руб.};$$

$$K_y^{np} = \frac{2211000}{768} = 2878,9 \text{ руб.}$$

Дополнительные капитальные вложения. В качестве капитальных вложений принимаем цену на разрабатываемое орудие, так как

разрабатывается новая машина, а не модернизируется уже существующий образец.

$$\Delta K = K^{np} - K^b = 2211000 - 2200000$$

$$\Delta K = 11000 \text{ руб.}$$

1. Определим текущие затраты для базовой и проектируемой модели машины для тушения лесных пожаров. В состав текущих затрат включаются:

З - затраты на оплату труда обслуживающего персонала, руб;

А - амортизационные отчисления по орудию, руб;

Т - затраты на техническое обслуживание и ремонт орудия, руб;

З<sub>т</sub> - затраты на амортизацию, ТО и ремонт по трактору, руб;

Г - расходы на горюче-смазочные материалы (ГСМ), руб;

П - прочие затраты, руб.

Основная заработная плата обслуживающего персонала определяется по формуле

$$Z_o = \sum_i^m TC_q \cdot T_{cm} \cdot TK_i \cdot K_o \cdot N_i, \quad (Д5.8)$$

где  $TC_q$  - тарифная ставка рабочего первого разряда в час, руб.;

$TK_i$  - тарифный коэффициент i-того разряда;

$K_o$  - коэффициент, учитывающий надбавки и доплаты;

$N_i$  - количество рабочих i-того разряда, чел.;

m - общее количество рабочих, обслуживающих орудие, чел.

$$Z_o^b = 33,5 \cdot 8 \cdot 1,51 \cdot 1 \cdot 1 = 404,68 \text{ руб.};$$

$$Z_o^{np} = 33,5 \cdot 8 \cdot 1,51 \cdot 1 \cdot 1 = 404,68 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата обслуживающего персонала определяется по формуле

$$Z_o = \frac{Z_o \cdot O_o}{100}, \quad (Д5.9)$$

где  $O_o$  - отчисления на дополнительную заработную плату, %.

$$z_o^{\sigma} = \frac{404,68 \cdot 10}{100} = 40,468 \text{ руб.}$$

$$z_o^{np} = \frac{404,68 \cdot 10}{100} = 40,468 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальное страхование и по производственному травматизму определяются по формуле

$$z_c = \frac{(z_o + z_o)(O_c + O_m)}{100}, \quad (\text{Д5.10})$$

где  $O_c$ - отчисления на социальное страхование, %;

$O_m$ - отчисления на производственный травматизм, %.

$$z_c^{\sigma} = \frac{(404,68 + 40,468) \cdot 30,2}{100} = 134,43 \text{ руб}$$

$$z_c^{np} = \frac{(404,68 + 40,468) \cdot 30,2}{100} = 134,43 \text{ руб}$$

Затраты на оплату труда определяются по формуле

$$z = z_o + z_o + z_c, \quad (\text{Д5.11})$$

$$z^{\sigma} = 404,68 + 40,468 + 144,92 = 590,068 \text{ руб.}$$

$$z^{np} = 404,68 + 40,468 + 144,92 = 590,068 \text{ руб}$$

Затраты на оплату труда, приходящиеся на единицу выработки, определяются по формуле

$$z_y = \frac{z}{\Pi_{cm}}, \quad (\text{Д5.12})$$

$$z_y^{\sigma} = \frac{590,068}{40} = 14,75 \text{ руб.};$$

$$z_y^{np} = \frac{590,068}{48} = 12,29 \text{ руб}$$

Амортизационные отчисления по орудю рассчитываются по формуле

$$A_o = \frac{K_o \cdot H_{ao}}{100}, \quad (\text{Д5.13})$$

где  $H_{ao}$  - норма амортизации для орудия, %.

$$A_o^{\sigma} = \frac{110000 \cdot 14,3}{100} = 15730 \text{ руб.};$$

$$A_o^{np} = \frac{121000 \cdot 14,3}{100} = 17303 \text{ руб}$$

Амортизационные отчисления на единицу выработки по орудю

$$A_y = \frac{A_o}{\Pi_{cod}}, \quad (\text{Д5.14})$$

$$A_y^{\delta} = \frac{15730}{40} = 393,25 \text{руб}; \quad A_y^{np} = \frac{17303}{48} = 360,47 \text{руб}$$

Затраты на техническое обслуживание и ремонт по орудью определяются по формуле

$$T_o = \frac{K_o \cdot H_{mo}}{100}, \quad (Д5.15)$$

где  $H_{mo}$  - отчисления на ТО и ремонт по орудью, %.

$$T_o^{\delta} = \frac{110000 \cdot 23}{100} = 25300 \text{руб}; \quad T_o^{np} = \frac{121000 \cdot 23}{100} = 27830 \text{руб}$$

Затраты по техническому обслуживанию и ремонту на единицу выработки по орудью:

$$T_y = \frac{T_o}{\Pi_{\text{зод}}}, \quad (Д5.16)$$

$$T_y^{\delta} = \frac{25300}{40} = 632,5 \text{руб}; \quad T_y^{np} = \frac{27830}{48} = 579,7 \text{руб}$$

Затраты на амортизацию, техническое обслуживание и ремонт по трактору на единицу выработки определяются по формуле

$$Z_{my} = \frac{K_m (H_{am} + H_{mm})}{100 \cdot t_{zm} \cdot \Pi_q}, \quad (Д5.17)$$

где  $H_{am}$  - норма амортизации для трактора, %;

$H_{mm}$  - отчисления на ТО и ремонт для трактора, %;

$t_{zm}$  - годовая загрузка трактора на всех видах работ, ч.

$$Z_{my}^{\delta} = \frac{2090000 \cdot (25 + 39)}{100 \cdot 1350 \cdot 5} = 198,16 \text{руб},$$

$$Z_{my}^{np} = \frac{2090000 \cdot (25 + 39)}{100 \cdot 1350 \cdot 6} = 165,135 \text{руб}$$

Расходы на горюче-смазочные материалы в расчёте на единицу выработки определяются по формуле

$$G_y = P \cdot g \cdot K_c \cdot K_2, \quad (Д5.18)$$

где  $P$  - комплексная цена горюче-смазочных материалов, руб.;

$g$  - расход топлива на единицу выработки, кг;

$K_c$  - коэффициент, учитывающий затраты на смазочные материалы;

$K_2$  - коэффициент, учитывающий затраты на доставку ГСМ.

$$\Gamma_y^{\bar{}} = 53,60 \cdot 1,16 \cdot 1,25 \cdot 1,1 = 85,492 \text{руб}, \quad \Gamma_y^{np} = 53,60 \cdot 1,16 \cdot 1,25 \cdot 1,1 = 85,492 \text{руб}$$

Если известен расход топлива за единицу времени (за 1 час, 1 день), затраты на единицу выработки можно определить:

Прочие затраты рассчитываются в размере 5 % от суммы предыдущих затрат:

$$P_y = 0,05(Z_y + A_y + T_y + Z_{my} + \Gamma_y), \quad (\text{Д5.19})$$

$$P_y^{\bar{}} = 0,05 \cdot (14,75 + 393,25 + 632,5 + 198,16 + 85,492) = 66,2076 \text{руб};$$

$$P_y^{np} = 0,05 \cdot (12,29 + 360,47 + 579,7 + 165,135 + 85,492) = 60,154 \text{руб}$$

Суммируя удельные расходы по вышперечисленным статьям, определяются текущие затраты на единицу выработки по базовому и проектируемому вариантам:

$$C = Z_y + A_y + T_y + Z_{my} + \Gamma_y + P_y, \quad (\text{Д5.20})$$

$$C^{\bar{}} = 14,75 + 393,25 + 632,5 + 198,16 + 85,492 + 66,2076 = 1390,35 \text{руб};$$

$$C^{np} = 12,29 + 360,47 + 579,7 + 165,135 + 85,492 + 60,154 = 1263,241 \text{руб}.$$

Абсолютное снижение текущих затрат на единицу выработки определяется по формуле

$$\Delta C = C^{\bar{}} - C^{np}, \quad (\text{Д5.21})$$

где  $C^{\bar{}}$  - удельные текущие затраты на эксплуатацию орудия по базовому варианту, руб.;

$C^{np}$  - удельные текущие затраты на эксплуатацию орудия по проектируемому варианту, руб.

$$\Delta C = 1390,35 - 1263,241 = 127,109 \text{руб}$$

Относительное снижение текущих затрат (%):

$$\Delta C = \frac{C^{\delta} - C^{np}}{C^{\delta}} \cdot 100\%, \quad (Д5.22)$$

$$\Delta C = \frac{1390,35 - 1263,241}{1390,35} \cdot 100\% = 9,14\%.$$

### 3. Определение основных показателей экономической эффективности

Условно-годовая экономия от снижения затрат, руб.:

$$\mathcal{E}_y = (C^{\delta} - C^{np}) \cdot P_{год}^{np}, \quad (Д5.23)$$

где  $P_{год}^{np}$  - годовая производительность орудия по проектируемому варианту.

$$\mathcal{E}_y = (1390,35 - 1263,241) \cdot 768 = 97619,712 \text{руб}$$

Рассчитаем приведённые затраты на единицу выработки (для базовой и проектируемой модели), руб.:

$$ПЗ = C + E_n \cdot K_y, \quad (Д5.24)$$

$$ПЗ^{\delta} = 1390,35 + 0,15 \cdot 3437,5 = 1905,975 \text{руб};$$

$$ПЗ^{np} = 1263 + 0,15 \cdot 2878,9 = 1694,835 \text{руб}$$

Экономический эффект от внедрения проектируемой модели на единицу выработки, руб.:

$$\Delta ПЗ = ПЗ^{\delta} - ПЗ^{np}, \quad (Д5.25)$$

где  $ПЗ^{\delta}$  - приведённые затраты на единицу выработки по базовому варианту, руб.;

$ПЗ^{np}$  - приведённые затраты на единицу выработки по проектируемому варианту, руб.

$$\Delta ПЗ = 1905,975 - 1694,835 = 211,14 \text{руб}$$

Годовой экономический эффект от внедрения проектируемого варианта, руб.:

$$\mathcal{E}_z = (ПЗ^{\delta} - ПЗ^{np}) \cdot P_{год}^{np}, \quad (Д5.26)$$

$$\mathcal{E}_z = (1905,975 - 1694,835) \cdot 768 = 162155,52 \text{руб}$$

Коэффициент экономической эффективности капитальных вложений:

$$K_3 = \frac{\mathcal{E}_2}{\Delta K}, \quad (Д5.27)$$

$$K_3 = \frac{162155,52}{11000} = 14,7.$$

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений:

$$t = \frac{\Delta K}{\mathcal{E}_2}, \quad (Д5.28)$$

$$t = \frac{11000}{162155,52} = 0,067.$$

Итоговые показатели заносятся в таблицу 5.3.

Таблица Д5.3 – Показатели экономической эффективности внедрения проектируемого варианта

Показатели	Единицы измерения	Варианты	
		базовый	проектируемый
1	2	3	4
Производительность орудия:			
- часовая		5	6
- сменная		40	48
- годовая		640	768
Текущие затраты, приходящиеся на единицу выработки	руб.	14,75	12,29
Удельные капитальные вложения	руб.	3437,5	2878,9
Годовой экономический эффект	руб.	—	162155,52
Коэффициент экономической эффективности инвестиций		—	14,7