

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

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Воронеж 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» (ФГБОУ ВО «ВГЛТУ»).

Научный руководитель: **Драпалюк Михаил Валентинович** - доктор технических наук, профессор.

Официальные оппоненты: **Алябьев Алексей Федорович** – доктор технических наук, профессор, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра Транспортно-технологические средства и оборудования лесного комплекса.

Бартенев Игорь Иванович – кандидат технических наук, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова», заведующий отделом семеноводства и семеноведения сахарной свеклы с элементами механизации.

Ведущая организация: Федеральное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства» (г. Пушкино).

Защита состоится 03.10.2022 г. в 10-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.034.02 при ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8, зал заседаний – аудитория 146.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова

<http://www.vglu.vrn.ru/rassmotrenie-dissertacij-v-sovete-d-212-034-02>

Автореферат разослан _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Платонов Алексей Дмитриевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 конструкций новых лесопитомниковых сеялок, позволяющих обеспечить снижение энергоемкости процесса посева семян, упрощение конструкции устройства для посева семян и повышение качества посева, 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. Сакун, 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 энергоемкости 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 энергоемкости 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 при посеве 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, которые отражают 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, математической и имитационной модели ее рабочего процесса, в изготовлении опытного образца, проведении экспериментальных исследований и обработке 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.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлена общая характеристика работы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна, научные положения, выносимые на защиту, теоретическая и практическая значимость научных исследований, а также опытно-производственная проверка полученных результатов и их внедрение.

В первой главе дан анализ способов и технических средств для посева мелких сыпучих семян хвойных пород в лесопитомниках.

Установлено, что в лесном хозяйстве перспективными являются лесопитомниковые сеялки, позволяющие обеспечить снижение энергоемкости процесса посева семян, упрощение конструкции устройства для посева семян и повышение качества посева.

Во второй главе представлено обоснование новой конструктивно-технологической схемы лесопитомниковой сеялки (патент на изобретение 2753663 С1, 19.08.2021) (рисунок 1), на основе которой разработана математическая модель взаимодействия сошника с почвой.

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

$$ma_x = F_T - F_s, \quad (1)$$

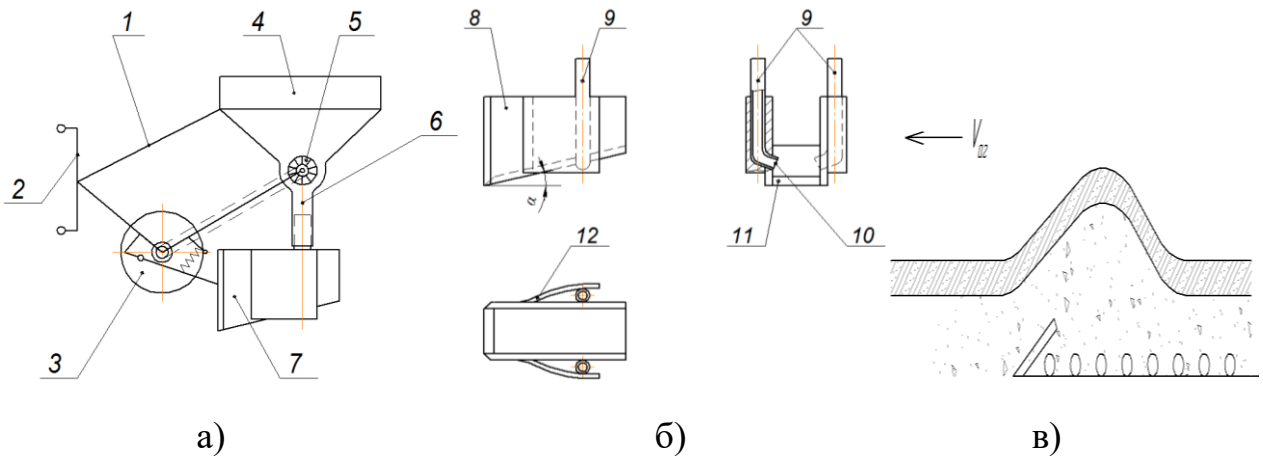
где m - масса сошника и почвы, кг;

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

F_T - тяговое усилие, Н;

F_s - сила сопротивления почвы, Н.

Для более точного определения сил сопротивления почвы, действующих



- а) Кинематическая схема лесопитомниковой сеялки; б) Схема сошника устройства, выполненного в виде П-образной скобы (в трех проекциях);
в) Технологическая схема образования посевной борозды

1 - рама, 2 - механизм навески, 3 - опорные колеса, 4 - семенной бункер, 5 - высевая аппарат, 6 - семяпровод, 7 - сошник, 8 - боковые стенки, 9 - наклонные полые каналы, 10 - трубки, 11 - наклонный нож, 12 - обтекатели.
Рисунок 1 Конструктивно-технологическая схема лесопитомниковой сеялки

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:

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

где m_i – масса элемента;

t – модельное время;

g – ускорение свободного падения;

i – порядковый номер элемента;

$N_{\mathcal{D}}$ – 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_{II} – общее количество элементарных поверхностей механизма;

F_{xik}^{II} , F_{yik}^{II} , F_{zik}^{II} – декартовы составляющие силы, действующей со стороны k -й элементарной поверхности на i -й элемент.

Для имитационного моделирования специально разработана компьютерная программа «Программа для моделирования движения в почве сошника лесной сеялки для питомников» (свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022614983, 28.03.2022). Программа разработана на языке программирования Object Pascal в среде разработки Borland Delphi 7 (рисунок 2).

Разработанная модель позволяет варьировать основные

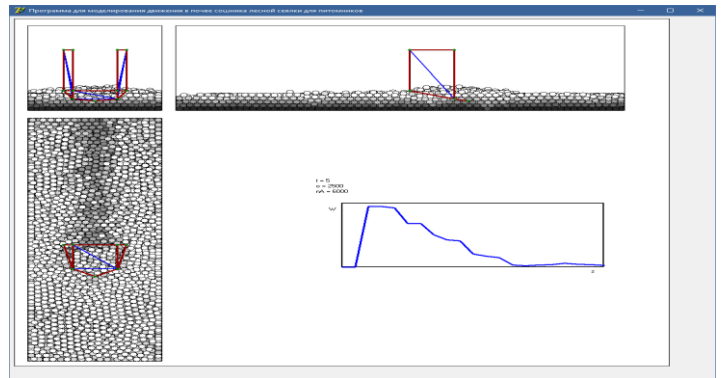


Рисунок 2 – Изображение, выводимое на экран разработанной программой: три проекции сошника лесной сеялки и участка почвы; график зависимости влажности почвы от высоты

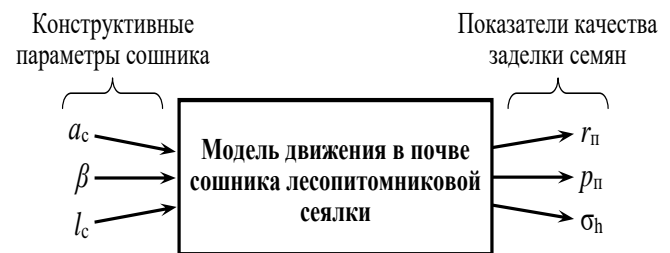


Рисунок 3 – Входные параметры и показатели эффективности разработанной математической модели

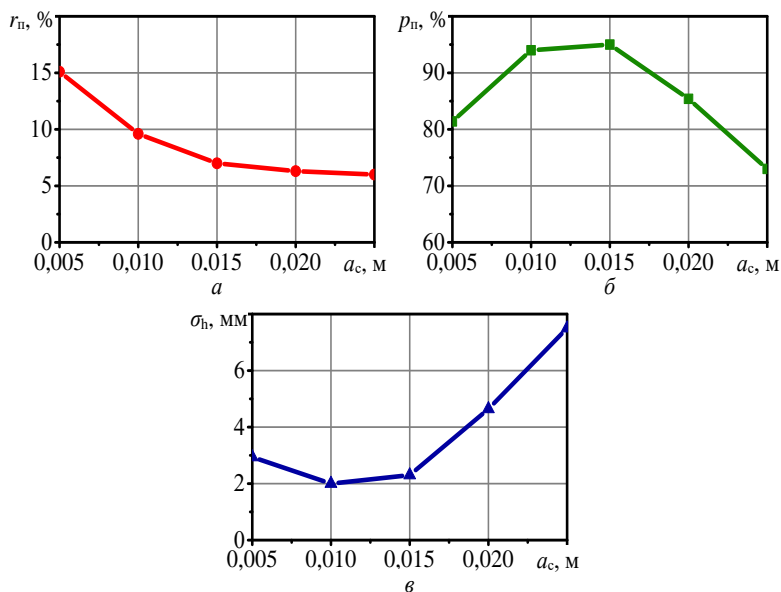


Рисунок 4 – Влияние глубины хода сошника a_c на степень перемешивания пласта r_{II} (а), степень пропуска пласта p_{II} (б) и разброс высоты пласта σ_h (в)

конструктивные параметры сошника лесопитомниковой сеялки (рисунок 3): a_c – глубина хода сошника; β – угол вхождения сошника в почву; l_c – длина скобы сошника в продольном направлении; r_{II} – степень перемешивания пласта; p_{II} – степень пропуска пласта; σ_h – разброс высоты 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 (рисунок 4). При слишком малой глубине хода сошника (0,005 м) не формируется достаточно сплошной пласт, из-за чего велика степень перемешивания пласта (более 15 %, рисунок 4, а), пласт пропускается не только над, но и под ножом сошника из-за чего понижена степень пропускания пласта до 81 % (рисунок 4, б), велик разброс высоты пласта (2,9 мм, рисунок 4, в).

На рисунке 5

представлены зависимости влияния угла вхождения сошника в почву β на степень перемешивания пласта $r_{п}$ (а), степень пропускания пласта $p_{п}$ (б) и разброс высоты пласта σ_{h} (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.

Зависимости влияния длины скобы сошника в продольном направлении l_c по ходу движения сошника на степень перемешивания пласта $r_{п}$ (а), степень пропускания пласта $p_{п}$ (б) и разброс высоты пласта σ_{h} (в) представлены на рисунке 6. При слишком малой длине скобы сошника (0,04 м) не формируется пласт заданного сечения, и происходит рыхление верхнего слоя почвы, из-за чего слишком велики 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 пропускания пласта (сгуживание).

Задачу двухфакторной оптимизации можно записать аналитически следующим образом:

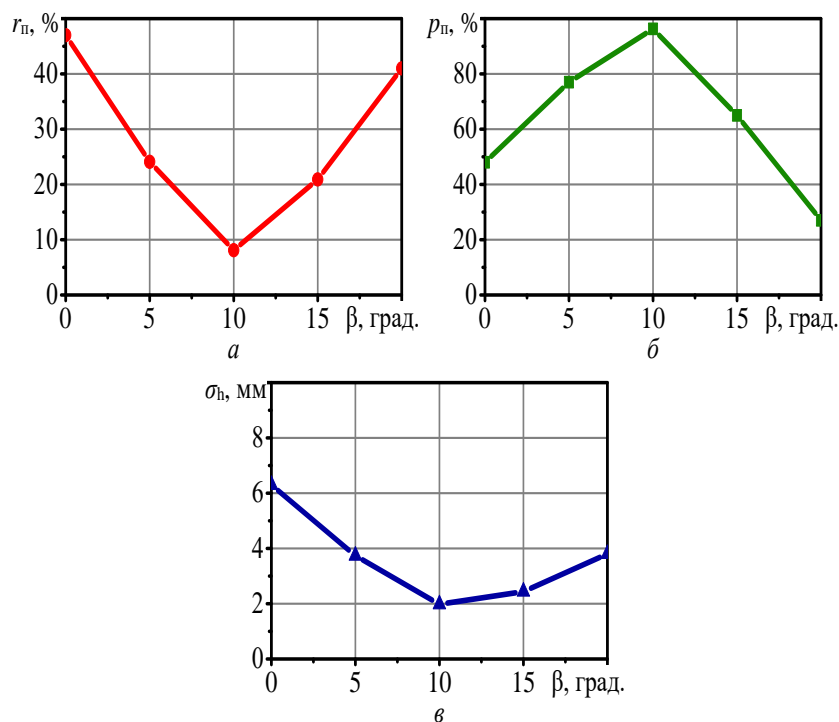


Рисунок 5 – Влияние угла вхождения сошника в почву β на степень перемешивания пласта $r_{п}$ (а), степень пропускания пласта $p_{п}$ (б) и разброс высоты пласта σ_{h} (в)

$$\begin{cases} r_{\Pi}(a_c, \beta) \rightarrow \min; \\ p_{\Pi}(a_c, \beta) \rightarrow \max; \Rightarrow a_c^{\text{опт}}, \beta^{\text{опт}}, \\ \sigma_h(a_c, \beta) \rightarrow \min; \end{cases} \quad (3)$$

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

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

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

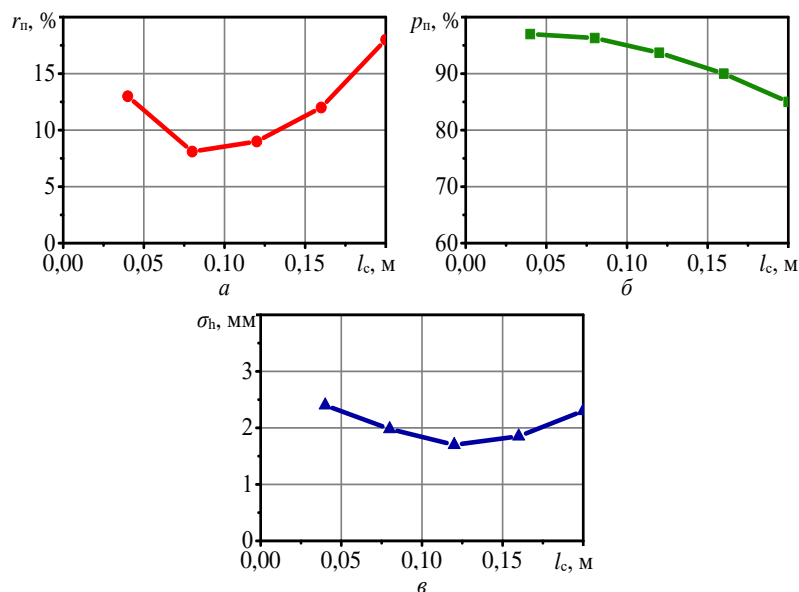


Рисунок 6 – Влияние длины скобы сошника в продольном направлении l_c по ходу движения сошника на степень перемешивания пласта r_{Π} (а), степень пропуска пласта p_{Π} (б) и разброс высоты пласта σ_h (в)

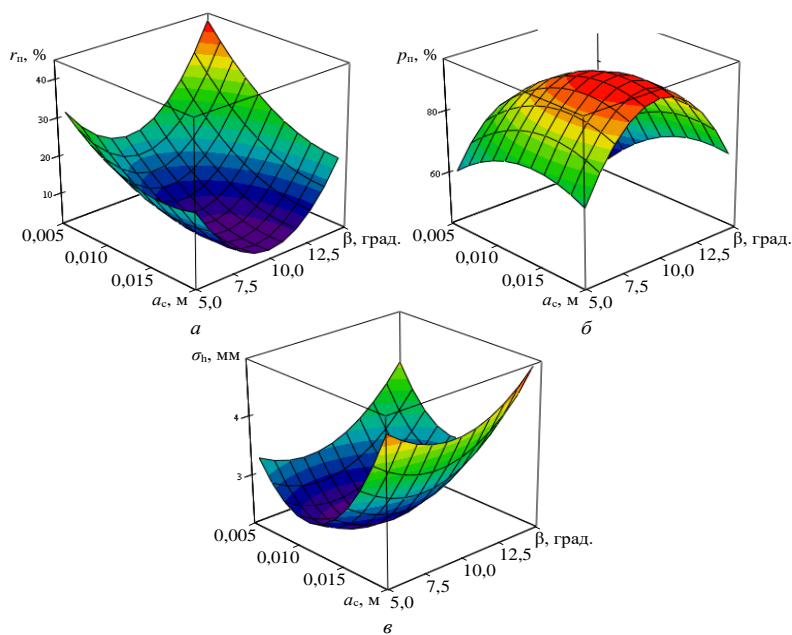


Рисунок 7 – Графики влияния глубины хода сошника a_c и угла вхождения сошника в почву β на степень перемешивания пласта r_{Π} (а), степень пропуска пласта p_{Π} (б) и разброс высоты пласта σ_h (в)

максимум находятся внутри выбранной области факторного пространства.

С помощью программы для автоматизированного проектирования Solidworks разработали 3D модель сошника, учитывающую его геометрические и массовые характеристики. Разработанная имитационная модель на основе 3D

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

$$\sigma_h(a_c, \beta) = 2,311 \cdot 10^4 a_c^2 + 0,024 \beta^2 - 3,867 a_c \cdot \beta - 470,2 a_c - 0,378 \beta + 6,447, \quad (6)$$

где r_{Π} и p_{Π} измеряются процентах, σ_h – в миллиметрах, a_c – в метрах, β – в градусах.

Судя по положению точек экстремума поверхности второго порядка на всех трех графиках искомые минимумы или максимум

моделирования позволяет определить реакции в местах соединения звеньев подвески сошника.

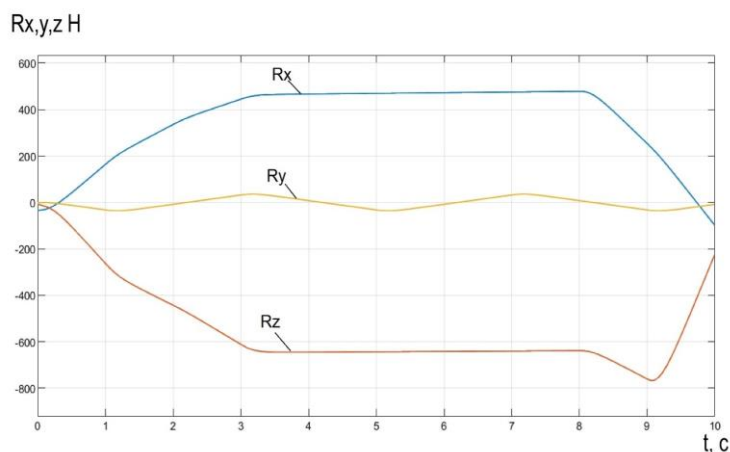


Рисунок 8 - Реакции в шарнире RRev3

На рисунке 8 представлен график реакций по трем основным координатам для шарнира, соединяющий раму с поводком сошника. При возмущающих параметрах от действия сил сопротивления движению почвы реакции для шарнира рама-поводок составили по координатным осям в пределах $OY \pm 40$ Н, $OX 0 \dots 800$ Н, $OZ 0 \dots 150$ Н соответственно. Для шарнира поводок-сошник реакции

составили $OY \pm 40$ Н, $OZ 0 \dots -790$ Н, $OX 0 \dots 420$ Н.

В третьей главе описана методика и приведены результаты лабораторных исследований рабочих процессов сошника. Разработан и изготовлен лабораторный стенд (рисунок 9). Рабочий ход сошника составил 0,65 м. Варьируемыми параметрами установки сошника являлись: угол вхождения в почву: 0,17 радиан, 0,19 радиан, 0,209 радиан, 0,226 радиан, 0,24 радиан, 0,26 радиан, величина заглубления: 0,005 м, 0,01 м, 0,015 м.

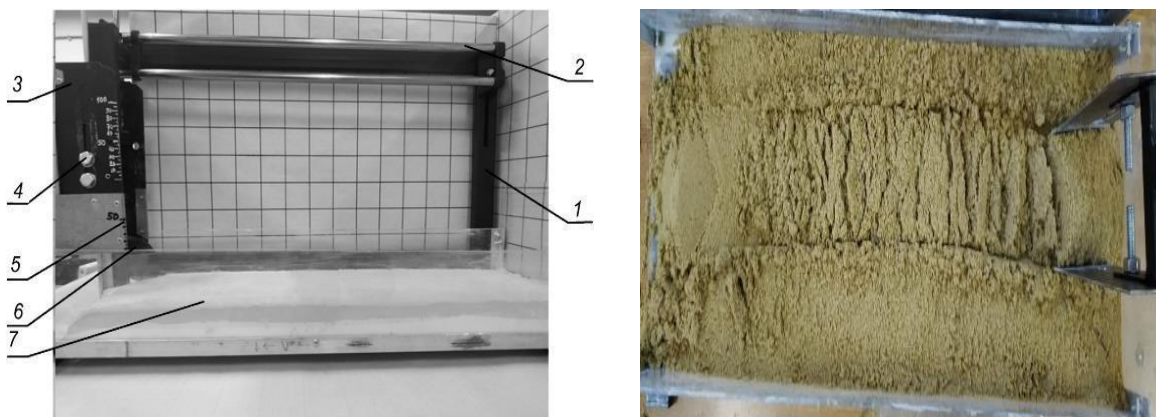


Рисунок 9 – Стенд для проведения лабораторных исследований качества
 1 – рама; 2 – верхние направляющие; 3 – разработанный сошник; 4 – винты регулировки высоты и угла установки; 5 – шкалы установки высоты; 6 – режущая кромка; 7 – имитационный почвенная площадка

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 0,17 ... 0,26 радиан (рисунок 10). Максимальное значение тягового сопротивления сошника для песчаной почвы составило 9,9 Н при угле установки 0,24 радиан. Минимальное значение составляло 7,8 Н при угле установки 0,19 радиан.

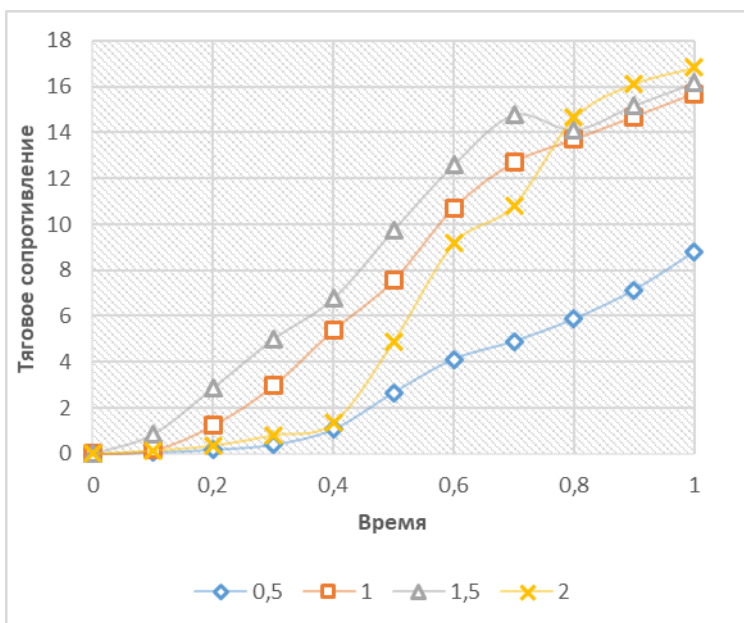


Рисунок 10 - Зависимости тягового сопротивления сошника от времени при угле вхождения в почву 0,174 радиан (10 градусов) при различной глубине обработки почвы.



Рисунок 11 – Сеялка СТВ-2, оснащенная разрабатываемым сошником (а- разработанный сошник; б – стандартный сошник)

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований рабочих процессов нового сошника лесопитомниковой сеялки (рисунок 11).

Параметры, которые в ходе проведения лабораторно-полевых исследований оставались постоянными: твердость почвы (p , Н/см²); влажность 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 (β , рад). Получаемые данные экспериментальных исследований являлись: тяговое сопротивление (F_T , кН) и качественные показатели работы сошника. Результаты экспериментальных исследований позволяют выполнить многофакторную оптимизацию параметров сошника лесной сеялки для питомников. 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 12). Для этого предварительно выделены области низких значений тягового сопротивления на картограммах лабораторного (рисунок 12, а) и полевого (рисунок 12, б) экспериментов; при этом разграничивающие линии уровня выбраны соответственно 15 Н и 0,2 кН из условия пересечения образуемых областей. Результаты оптимизации параметров сеялки по условию минимума тягового сопротивления целесообразно объединить с результатами

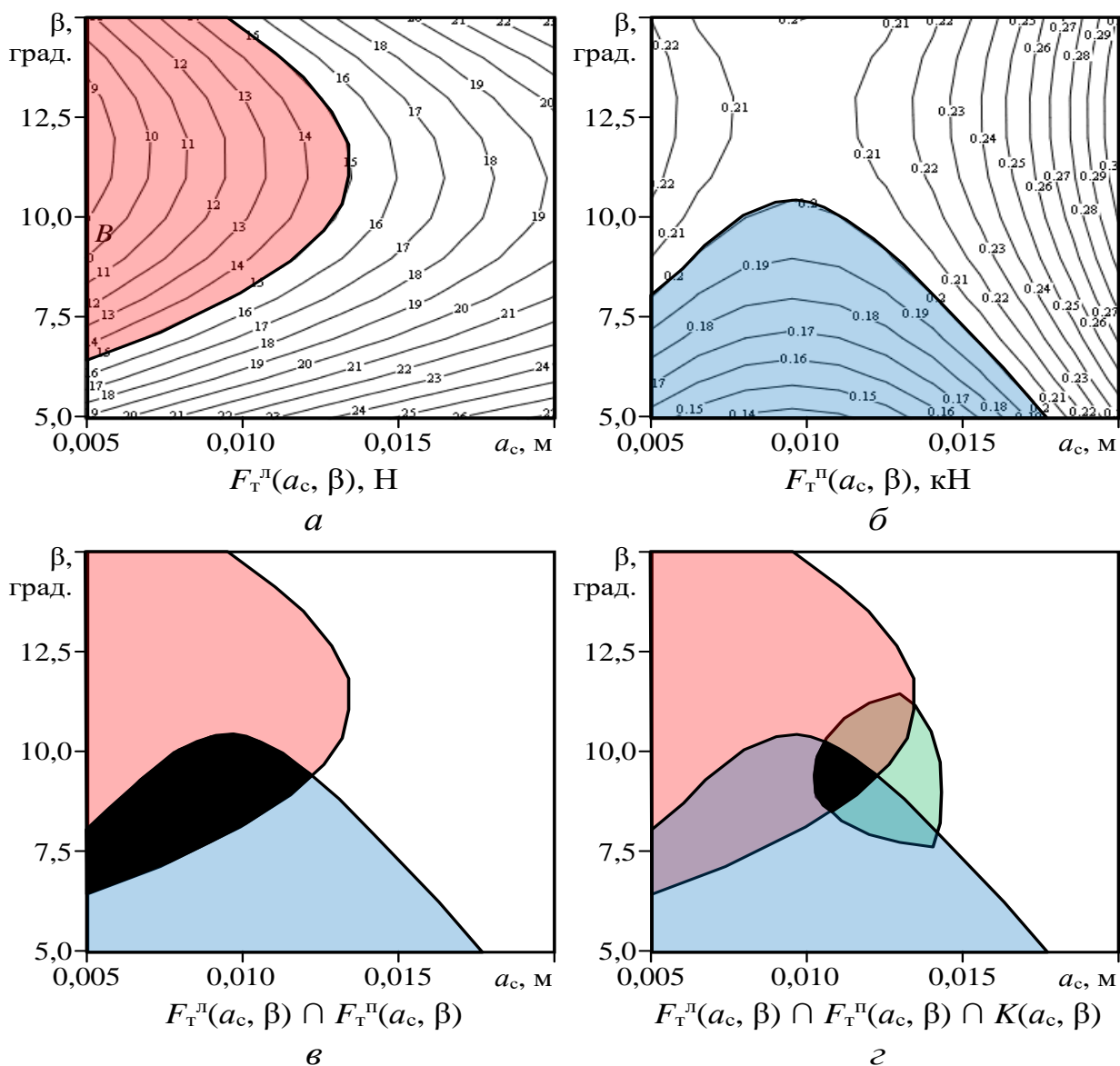


Рисунок 12 – Картограммы оптимизации параметров сошника: зависимости среднего тягового сопротивления сошника F_T в лабораторном (а) и полевом (б) экспериментальных исследованиях от глубины хода сошника a_c и угла вхождения сошника

проведенной ранее оптимизации по условиям максимума качества заделки семян. 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.

В пятой главе определена технико-экономическая эффективность экспериментального образца лесопитомниковой сеялки. Коэффициент экономической эффективности приемлем 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. 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, применяемых для высева сельскохозяйственных и лесных семян, включает несколько операций, выполняемых 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 0.1745 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 0.139 радиан (8 градусов) ... 0.1919 радиан (11 градусов).

При этом обеспечивается степень перемешивания пласта менее 10 %, степень пропуска 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-поводок составили по координатным осям в пределах $OY \pm 40$ Н, OX 0...800 Н, OZ 0...150 Н соответственно. Для шарнира поводок-сошник 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 0.1919 радиан (11 градусов), 0.244 радиан (14 градусов) и 0.26 радиан (15 градусов) при глубине обработки 0,008...0,01 м составляет 0,35...0,46 кН. 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.

7. 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 0.144 радиан (8.3 градусов) ... 0.174 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. 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 РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, входящих в базы данных Scopus

1. Studies of the traction characteristics of the opener of a forestry seeder for a nursery Gnusov M.A., Drapalyuk M.V., Druchinin D.Yu., Bukhtoyarov L.D., Ushakov N.O., Sibiryatkin E.V. В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6. Сер. "VI International Scientific Conference on Advanced Agritechnologies, Environmental Engineering and Sustainable Development - Chemical, Ecological, Oil-and-Gas Engineering and Natural Resources" 2022. С. 042048.

В рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

2. К вопросу механизации высева дражированных лесных семян Бартенев И.М., Драпалюк М.В., Ушаков Н.О., Новиков А.И. Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10. № 1 (37). С. 161-172.

3. Анализ технологий и технических средств для посева мелких лесных семян в питомниках Драпалюк М.В., Ушаков Н.О., Жужукин Н.В., Журавлев А.Н. Лесотехнический журнал. 2021. Т. 11. № 3 (43). С. 130-139.

4. Исследование кинематических и динамических характеристик сошника лесной сеялки для питомников Воронежской области с применением блочно-ориентированной имитационной модели Драпалюк М.В., Бухтояров Л.Д., Гнусов М.А., Ушаков Н.О. Системы. Методы. Технологии. 2021. № 2 (50). С. 144-151.

В патентах, свидетельствах о государственной регистрации программ для ЭВМ

5. Способ и устройство для посева семян Бартенев Иван Михайлович, Драпалюк Михаил Валентинович, Ушаков Никита Олегович Патент на изобретение 2753663 С1, 19.08.2021. Заявка № 2020142664 от 22.12.2020.

6. Программа для моделирования взаимодействия сошника лесопитомниковой сеялки с почвой Драпалюк Михаил Валентинович, Попиков Петр Иванович, Дручинин Денис Юрьевич, Посметьев Виктор Валерьевич, Гнусов Максим Александрович, 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.

В сборниках научных трудов и материалах конференций

7. Способ проведения лабораторных исследований посевной борозды сошника лесной сеялки для питомников Драпалюк М.В., Бухтояров Л.Д., Гнусов М.А., Ушаков Н.О. В сборнике: повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Седьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2021. С. 55-56.

8. Энергоэффективные способы и технические средства для посева мелких лесных семян в питомнике Ушаков Н.О. В сборнике: Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе. Материалы международной научно-практической конференции. Воронеж, 2021. С. 253-258.

9. Системная модель объекта функционального моделирования сошника лесной сеялки Камалова Н.С., Ушаков Н.О. В сборнике: Современные ресурсосберегающие технологии и технические средства лесного комплекса. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Отв. редактор И.В. Четверикова. Воронеж, 2021. С. 188-192.

Подписано к печати
Формат 60×90 1/16. Объем 1 п.л. Тираж 100 экз. Заказ...
Отпечатано в УОП ФГБОУ ВО «ВГЛТУ»
394087, г. Воронеж, ул. Докучаева, 10
2-53-92-85